



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMAZACIÓN

**“OPTIMIZACIÓN DE UNA MICRORRED MEDIANTE EL
ANÁLISIS DEL DIMENSIONAMIENTO Y LOCALIZACIÓN
GEOGRÁFICA DE GENERACIÓN RENOVABLE Y BANCO DE
BATERÍAS PARA UN PERFIL DE CONSUMO PROMEDIO DE
800KW”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORA: BÉTTY ZULIMAR TACURI SÁNCHEZ

DIRECTOR: ING. JORGE HERNÁNDEZ, Ph.D

Riobamba – Ecuador

2022

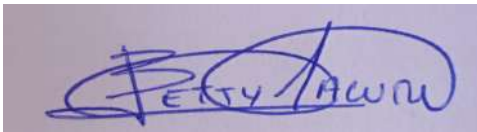
©2022, Bétty Zulimar Tacuri Sánchez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, BÉTTY ZULIMAR TACURI SÁNCHEZ, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 23 de diciembre de 2022

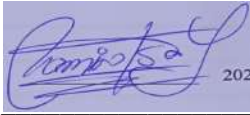




Betty Zulimar Tacuri Sánchez

235004113-9

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBRAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, “**OPTIMIZACIÓN DE UNA MICRORED MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL DIMENSIONAMIENTO Y LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE GENERACIÓN RENOVABLE Y BANCO DE BATERÍAS PARA UN PERFIL DE CONSUMO PROMEDIO DE 800KW**”, realizado por la señorita: **BÉTTY ZULIMAR TACURI SÁNCHEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Ramiro Isa Jara PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-12-23
Ing. Jorge Hernández, Ph.D DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-12-23
Ing. Mayra Pacheco, M.Sc MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-12-23

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
ABREVIATURAS.....	xii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	4
1.1 Antecedentes.....	4
1.2 Justificación teórica.....	4
1.3 Justificación aplicativa.....	5
1.4 Objetivo general.....	6
1.5 Objetivos específicos.....	6

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	7
2.1 Microrred.....	7
2.1.1 <i>Elementos constitutivos.....</i>	<i>7</i>
2.1.2 <i>Módulo de generación de energía.....</i>	<i>7</i>
2.1.2.1 <i>Energía eólica.....</i>	<i>8</i>
2.1.2.2 <i>Energía solar.....</i>	<i>9</i>
2.1.2.3 <i>Generación renovable híbrida.....</i>	<i>10</i>

2.1.3	<i>Módulo de almacenamiento</i>	12
2.1.3.1	<i>Banco de baterías</i>	12
2.1.4	<i>Modos de operación</i>	13
2.1.4.1	<i>Operación conectada a la red pública</i>	13
2.1.4.2	<i>Operación aislada de la red pública</i>	13
2.1.5	<i>Clasificación según el bus común de distribución</i>	14
2.1.5.1	<i>MR en corriente continua (CC)</i>	14
2.1.5.2	<i>MR en corriente alterna (CA)</i>	15
2.1.5.3	<i>MR híbrida</i>	17
2.2	<i>Demanda energética y potencial eléctrico renovable</i>	17
2.2.1	<i>Perfiles de consumo eléctrico residencial</i>	17
2.2.2	<i>Irradiación global horizontal</i>	19
2.3	<i>Modelado matemático</i>	20
2.3.1	<i>Sistema fotovoltaico</i>	20
2.3.2	<i>Sistema eólico</i>	21
2.3.3	<i>Sistema de almacenamiento</i>	22
2.3.4	<i>Función objetivo</i>	24
2.4	<i>Optimización</i>	24
2.4.1	<i>Clasificación de los problemas de optimización</i>	25
2.4.2	<i>Formulación del problema de optimización</i>	25
2.4.3	<i>Algoritmos de optimización</i>	26
2.4.3.1	<i>Algoritmo genético</i>	27
2.4.3.2	<i>Optimización por enjambre de partículas</i>	29

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	32
3.1	Definición de demanda energética	32
3.2	Localidades en el Ecuador	33

3.3	Recurso renovable eólico y solar.....	35
3.4	Diseño de la microrred.....	36
3.4.1	<i>Paneles fotovoltaicos.....</i>	36
3.4.1.1	<i>RESUN RS7E-M.....</i>	36
3.4.1.2	<i>EOS MONO by Eco Green Energy.....</i>	37
3.4.2	<i>Turbinas eólicas.....</i>	38
3.4.2.1	<i>ZONHAN NE-600.....</i>	38
3.4.2.2	<i>EcoSolar Aero 24V - 1000W.....</i>	39
3.4.3	<i>Baterías.....</i>	40
3.4.3.1	<i>CSBattery HTB12-100.....</i>	40
3.4.4	<i>Configuración de los escenarios de simulación.....</i>	41
3.5	Generación renovable eólica y solar.....	42
3.6	Algoritmo PSO.....	43

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS.....	45
4.1	Consumo eléctrico promedio 800kWh al mes.....	45
4.2	Generación renovable eólica y solar.....	45
4.2.1	<i>El aramo.....</i>	45
4.2.2	<i>El arenal.....</i>	46
4.3	Evaluación de banco de baterías.....	47
4.3.1	<i>Comportamiento de solución menos óptima Escenario #1 – El Arenal.....</i>	47
4.3.2	<i>Comportamiento de Escenario #1 solución óptima – El Arenal.....</i>	49
4.4	Costo de generación renovable.....	50
4.5	Asignación óptima de GR y BB.....	51
4.5.1	<i>El Aromo – Escenario #1.....</i>	51
4.5.1.1	<i>Solución 1 simulación.....</i>	51
4.5.1.2	<i>Solución 30 simulaciones.....</i>	52

4.5.2	<i>El Aromo – Escenario #2</i>	53
4.5.2.1	<i>Solución 1 simulación</i>	53
4.5.2.2	<i>Solución 30 simulaciones</i>	55
4.5.3	<i>El Arenal – Escenario #1</i>	55
4.5.3.1	<i>Solución 1 Simulación</i>	55
4.5.3.2	<i>Solución 30 simulaciones</i>	57
4.5.4	<i>El Arenal – Escenario #2</i>	57
4.5.4.1	<i>Solución 1 simulación</i>	57
4.5.4.2	<i>Solución 30 simulaciones</i>	58
4.6	Escenario óptimo de la MR	59
	CONCLUSIONES	61
	RECOMENDACIONES	62
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Clasificación de celdas solares para paneles fotovoltaicos.....	10
Tabla 2-2: Clasificación de baterías para MR.....	13
Tabla 3-2: Cargas de CC comunes en una vivienda	15
Tabla 4-2: Cargas de CA comunes en una vivienda	16
Tabla 1-3: Consumo eléctrico semanal vivienda de 3 habitantes	33
Tabla 2-3: Irradiación global horizontal El Aromo.....	35
Tabla 3-3: Velocidad del viento 10M El Arenal.....	36
Tabla 4-3: Características eléctricas panel RESUN 230w/12VC	37
Tabla 5-3: Características eléctricas panel EOS MONO 400W	38
Tabla 6-3: Datos técnicos aerogenerador ZONHAN NE-600	39
Tabla 7-3: Datos técnicos Aerogenerador Ecosolar 1000w-24v.....	40
Tabla 8-3: Especificaciones técnicas batería CSBattery HTB12-100.....	41
Tabla 9-3: Elementos del Escenario #1.....	41
Tabla 10-3: Elementos del Escenario #2.....	42
Tabla 1-4: Solución menos óptima Escenario #1 – El Arenal	48
Tabla 2-4: Solución óptima Escenario #1 – El Arenal.....	49
Tabla 3-4: Costo de componentes Escenario #1	50
Tabla 4-4: Costo de componentes Escenario #2	51
Tabla 5-4: Pérdidas de suministro de energía El Aromo – Escenario #1.....	51
Tabla 6-4: Solución óptima global El Aromo – Escenario #1 – 1 simulación.....	52
Tabla 7-4: Solución óptima global El Aromo – Escenario #1 – 30 simulaciones	53
Tabla 8-4: Pérdidas de suministro de energía El Aromo – Escenario #2.....	53
Tabla 9-4: Solución óptima global El Aromo – Escenario #2 – 1 simulación.....	54
Tabla 10-4: Solución óptima global El Aromo – Escenario #1 – 30 simulaciones	55
Tabla 11-4: Pérdidas de suministro de energía El Arenal – Escenario #1	55
Tabla 12-4: Solución óptima El Arenal – Escenario #1 – 1 simulación	56
Tabla 13-4: Solución óptima global El Aromo – Escenario #1 – 30 simulaciones	57
Tabla 14-4: Pérdidas de suministro de energía – El Arenal – Escenario #1	57
Tabla 15-4: Solución óptima El Arenal – Escenario #2 – 1 simulación	58
Tabla 16-4: Solución óptima global El Aromo – Escenario #1 – 30 simulaciones	59
Tabla 17-4: Soluciones óptimas de El Arenal - El Aromo.....	60

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2: Clasificación de las fuentes de energía	8
Ilustración 2-2: Aerogenerador con eje horizontal y eje vertical	8
Ilustración 3-2: Componentes que forman un panel fotovoltaico poli-cristalino	9
Ilustración 4-2: Esquema de elementos que conforman una MR con generación híbrida	11
Ilustración 5-2: Diagrama general de una MR off-grid con HRES y BB.....	11
Ilustración 6-2: Clasificación de las tecnologías para el almacenamiento de energía eléctrica	12
Ilustración 7-2: Modos de operación de una MR	14
Ilustración 8-2: Clasificación de las MR según el bus común de distribución.....	14
Ilustración 9-2: Esquema de MR con bus CC conectada a cargas CC y CA	15
Ilustración 10-2: Esquema de MR con bus CA conectada a cargas CC y CA	16
Ilustración 11-2: Esquema general de MR híbrida.....	17
Ilustración 12-2: Perfil de demanda residencial en un lapso de 96h – (condiciones pico).....	18
Ilustración 13-2: Perfil de demanda residencial en lapso de 96h – (condiciones pico medio)..	18
Ilustración 14-2: Perfil de demanda residencial en lapso de 96 – (condiciones fuera de pico).	19
Ilustración 15-2: Irradiación global horizontal, periodo 1999-2018	20
Ilustración 16-2: Modelo de batería cinético (KiBaM)	22
Ilustración 17-2: Clasificación de los problemas de optimización.....	25
Ilustración 18-2: Operaciones fundamentales en el AG.....	28
Ilustración 19-2: Pseudocódigo del GA	29
Ilustración 20-2: Pseudocódigo del algoritmo PSO	31
Ilustración 1-3: Toma de muestra medidor de vivienda de 3 habitantes	32
Ilustración 2-3: Ubicación de El Arenal en mapa geográfico	34
Ilustración 3-3: Ubicación de El Aromo en mapa geográfico.....	34
Ilustración 4-3: Panel solar 230Wp/12VDC Monocristalino RESUN	36
Ilustración 5-3: Módulo fotovoltaico EOS MONO 400W-72C	37
Ilustración 6-3: Aerogenerador ZONHAN MODELO NE-600	38
Ilustración 7-3: Aerogenerador EcoSolar MODELO Aero 1000w – 24V	39
Ilustración 8-3: Batería CSBattery modelo HTB12-100	40
Ilustración 9-3: Diagrama de flujo algoritmo PSO.....	43
Ilustración 1-4: Consumo energético mensual 3 viviendas 3 habitantes.....	45
Ilustración 2-4: Generación renovable anual en El Aromo	46
Ilustración 3-4: Generación renovable anual en El Arenal	47
Ilustración 4-4: Análisis solución menos óptima establecida.....	48
Ilustración 5-4: Análisis del BB para solución óptima establecida	50

Ilustración 6-4: Asignación óptima de recursos El Aromo - Escenario #1	52
Ilustración 7-4: Asignación óptima de recursos El Aromo - Escenario #2	54
Ilustración 8-4: Asignación óptima de recursos El Arenal - Escenario #1.....	56
Ilustración 9-4: Asignación óptima de recursos El Arenal - Escenario #2.....	58

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Demanda energética diaria vivienda de tres habitantes

ANEXO B: Demanda energética semanal vivienda tres habitantes

ANEXO C: Demanda energética mensual vivienda 3 habitantes

ANEXO D: GHI El Aromo

ANEXO E: Velocidad de viento 10M - El Aromo

ANEXO F: GHI El Arenal

ANEXO G: Velocidad de viento 10M - El Arenal

ANEXO H: Generación eólica – El Arenal – Escenario #1

ANEXO I: Generación solar – El Arenal – Escenario #1

ANEXO J: Generación eólica – El Arenal – Escenario #2

ANEXO K: Generación solar – El Arenal – Escenario #2

ANEXO L: Generación eólica – El Aromo – Escenario #1

ANEXO M: Generación solar – El Aromo – Escenario #1

ANEXO N: Generación eólica – El Aromo – Escenario #2

ANEXO O: Generación solar – El Aromo – Escenario #2

ANEXO P: Soluciones óptimas El Aromo – Escenario #1

ANEXO Q: Soluciones óptimas depuradas El Aromo – Escenario #1

ANEXO R: Soluciones óptimas El Aromo – Escenario #2

ANEXO S: Soluciones óptimas depuradas El Aromo – Escenario #2

ANEXO T: Soluciones óptimas El Arenal – Escenario #1

ANEXO U: Soluciones óptimas depuradas El Arenal – Escenario #1

ANEXO V: Soluciones óptimas El Arenal – Escenario #2

ANEXO W: Código – función Principal 1

ANEXO X: Código – función Escenarios

ANEXO Y: Código – Datos por hora Escenario #1

ANEXO Z: Código Datos por hora Escenario #2

ANEXO AA: Análisis Demanda mensual 3 viviendas de 3 habitantes

ANEXO BB: Cálculo de generación renovable El Aromo – El Arenal

ANEXO CC: Análisis del comportamiento de banco de batería y LPS

ABREVIATURAS

ABC	artificial bee colony o colonia de abejas artificiales
AC	alternate current o corriente alterna
ACO	ant colony optimization u optimización de colonia de hormigas
BB	banco de baterías
CA	corriente alterna
CC	corriente continua
CD	cargas distribuidas
DC	direct current o corriente directa
DE	differential evolution o evolución diferencial
DER	recursos energéticos distribuidos
EA	evolutionary algorithms o algoritmo evolutivo
EP	evolutionary programming o programación evolutiva
ERNC	energías renovables no convencionales
ES	evolution strategy o estrategia evolutiva
ESS	energy storage system o sistema de almacenamiento de energía
EV	electric vehicle o vehículo eléctrico
FA	firefly algorithms o algoritmo Firefly
fp	factor de potencia
GA	genetic algorithm o algoritmo genético
GD	generación distribuida
GHI	global horizontal irradiance o irradiación global horizontal
GP	genetic programming o programación genética
HRES	hybrid renewable energy system o sistema híbrido de energía renovable
KiBaM	kinetic battery model o modelo cinético de batería
LC	local control o controlador local
LPS	loss of power system o pérdida de suministro de energía

LVAC	low voltage alternate current o corriente alterna de baja tensión
LVDC	low voltage direct current o corriente continua de baja tensión
MR	microrred
NPC	net present cost o costo neto anual
PCC	punto crítico de control
PEI	power electronics interfaces o interfaces de electrónica de potencia
PHEV	plug-in hybrid electric vehicle o vehículo eléctrico híbrido enchufable
PPV	panel fotovoltaico o panel fotovoltaico
PSO	particle swarm optimization u optimización de enjambre de partículas
PV	photovoltaico o fotovoltaico
RED	recursos de energía distribuida
RES	renewable energy system o sistema de energía renovable
SEP	sistema eléctrico de potencia
SI	swarm intelligence o inteligencia de enjambre
SPV	solar photovoltaico o energía solar fotovoltaica
SS	scatter search o búsqueda dispersa
STC	standart test conditions o condiciones estándar de prueba
TS	tabu search o búsqueda tabú
WECS	wind energy conversion energy o sistema de conversión de energía eólica
WT	wind turbine o turbina eólica
WTG	wind turbine generator o generador de turbina eólica

RESUMEN

Las microrredes auto-sostenibles son sistemas formados por fuentes de energía renovable, así también, para garantizar que la demanda sea abastecida en todo tiempo, las microrredes pueden integrar un módulo de almacenamiento. El presente estudio se centra en optimizar el dimensionamiento y localización geográfica de una microrred provista de generación renovable del tipo fotovoltaica y eólica, así también, un banco de baterías en el módulo de almacenamiento. En este estudio se consideró una proyección de la demanda energética de una vivienda de 3 habitantes, obteniendo un consumo energético semanal promedio de 800kWh aproximadamente. Posteriormente, se eligieron dos localidades en Ecuador para evaluar el estudio: Arenal (Chimborazo) y Aromo (Manabí). Así también, dos configuraciones tecnológicas que integrarán el módulo de generación: Paneles solares de 230W y 400W; turbinas eólicas de 600W y 1kW; y para ambas configuraciones baterías de 100Ah 12V. Se determina la generación obtenida por cada escenario a través del modelo matemático de cada módulo. Los resultados se rigen a una función objetivo basada en el costo de inversión y la pérdida de suministro de energía, y se evalúan con el algoritmo denominado Optimización por Enjambre de Partículas (PSO, en inglés). Después de analizar cada escenario se tienen cuatro soluciones óptimas, y la selección del mejor escenario se realiza con un análisis de costo de inversión y pérdidas de suministro de energía, esta selección se la realiza por medio de una comparación directa entre los mejores resultados obtenidos. Como resultado final, se determinó que, para la microrred diseñada con consumo promedio semanal de 800kWh, es más óptimo implementar la configuración del sector El Arenal, formada por generación fotovoltaica de 74 paneles, generación eólica de 0 turbinas y banco de baterías de 93 unidades, con una inversión de \$37.880,00 USD y pérdidas de suministro de energía de 0%.

Palabras clave: <OPTIMIZACIÓN>, <MICRORRED>, <ALGORITMOS INTELIGENTES>, <GENERACIÓN DISTRIBUIDA>, <MODELADO MATEMÁTICO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA>, <MODELO CINÉTICO DE BATERÍA>, <ALGORITMOS GENÉTICOS (GA)>, <OPTIMIZACIÓN POR ENJAMBRE DE PARTÍCULAS (PSO)>

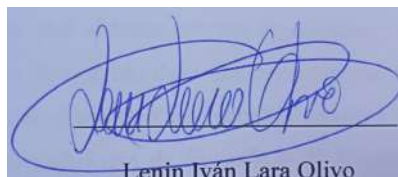


0330-DBRA-UPT-2023

SUMMARY

Self-sustaining micro-networks are systems of renewable energy sources; also, micro-networks can integrate a storage module to guarantee that demand is always supplied. The present study focuses on optimizing the dimensioning and geographic location of micro-networks provided with renewable generation of the photovoltaic and wind type and a battery bank in the storage module. This study considered a projection of the energy demand of a house with three inhabitants, obtaining an average weekly energy consumption of about 800kWh. Subsequently, two locations in Ecuador were chosen to evaluate the study: Arenal (Chimborazo) and Aromo (Manabí). As well as two technological configurations that will integrate the generation module: 230W and 400W solar panels, 600W and 1kW wind turbines, and for both configurations 100Ah 12V batteries. The generation obtained for each scenario is determined through the mathematical model of each module. The results are governed by an objective function based on the investment cost and the loss of energy supply and are evaluated with the algorithm called Particle Swarm Optimization (PSO). After analyzing each scenario, there are four optimal solutions. The best scenario selection is made with an analysis of investment cost and energy supply losses, using a direct comparison between the best results obtained. As a final result, it was determined that, for the micro network designed with an average weekly consumption of 800kWh, it is more optimal to implement the configuration of the El Arenal sector, consisting of photovoltaic generation of 74 panels, wind generation of 0 turbines and a battery bank of 93 units. , with an investment of USD 37,880.00 and energy supply losses of 0%.

Keywords: <OPTIMIZATION>, < MICRO NETWORK>, <SMART ALGORITHMS>, <DISTRIBUTED GENERATION>, <MATHEMATICAL MODELING OF DISTRIBUTED GENERATION>, < KINETIC BATTERY MODEL>, <GENETIC ALGORITHMS (GA)>, < PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)>



Lenin Iván Lara Olivo

Lenin Iván Lara Olivo

0602546103

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la creciente demanda energética por parte de la población mundial ha motivado un aumento en los índices de generación energética renovable como fotovoltaica y eólica, además de la generación hidroeléctrica. Este aumento es mayor en países europeos, Estados Unidos, sin embargo, en países latinoamericanos existen pocos esfuerzos por realizar un cambio de matriz energética. Las mayores dificultades están relacionadas con una falta de generación energética distribuida integrada a través del concepto de microrredes energéticas. Las microrredes son un sistema de auto-generación y consumo energético, basado principalmente en energías renovables, y que puede o no estar interconectada con la red eléctrica nacional.

Con el objetivo de implementar microrredes energéticas con el menor costo de inversión y una alta confiabilidad en cuanto al abastecimiento de energía requerido por parte de los usuarios, en las microrredes se suele incorporar también bancos de baterías que se encargan de almacenar energía cuando la generación excede la demanda y entregar energía cuando la demanda excede la generación. Es así que se requiere un correcto dimensionamiento de las unidades de generación eléctrica renovable y del sistema de almacenamiento de energía para que en conjunto se encarguen de proveer la energía eléctrica requerida por las cargas (usuarios residenciales), en base a perfiles de energía renovable disponible y perfiles de consumo, de acuerdo a una determinada ubicación geográfica.

Además de buscar un dimensionamiento óptimo de las unidades de generación energética y almacenamiento de energía en base a los perfiles de generación y consumo, el objetivo de optimización de la microrred debe estar encaminado también a obtener una configuración que tienda a pérdidas energéticas nulas, correcto abastecimiento de energía y la menor inversión económica posible.

En literatura se reportan varios trabajos relacionados a la optimización del dimensionamiento y localización geográfica de las unidades de generación renovable en microrredes, por ejemplo: en (Ekren y Ekren 2010, p. 1-7) se utiliza el algoritmo de recocido simulado para optimizar el tamaño del sistema híbrido integrado por paneles, turbinas y baterías, su función objetivo de estudio es la minimización del coste total del sistema híbrido de energía, y sus variables de decisión son el tamaño fotovoltaico, el área de barrido del rotor del aerogenerador y la capacidad de la batería. El resultado obtenido con el algoritmo de recocido simulado se compara con los resultados obtenidos a través de la Metodología de Superficie de Respuesta (RSM), llegando a obtener mejores resultados con el algoritmo de recocido simulado

En (Alturki y Awwad 2021, p. 1-20) se diseñó un sistema energético híbrido autónomo de turbinas, paneles, biomasa e hidrobomba en almacenamiento de energía, tal sistema se optimizó en base a

parámetros técnicos, económicos y medioambientales para satisfacer la demanda energética con una función objetivo de coste mínimo de energía (COE), con restricciones enfocadas en la pérdida de suministro de energía y la fracción de exceso de energía. Este sistema se optimizó en base a tres algoritmos, algoritmo Ballena, algoritmo firefly, y enjambre de partículas, y finalmente fue comparado un sistema híbrido basado en turbinas, paneles y almacenamiento en baterías. A partir del contrato se obtiene el COE en el sistema híbrido de almacenamiento de hidro-bomba inferior al del sistema híbrido con almacenamiento de baterías, resultado obtenido a través del algoritmo ballena para satisfacer la misma demanda energética.

En (Maleki y Pourfayaz 2015, p. 1-13) los sistemas híbridos fotovoltaicos, eólicos con almacenamiento de baterías se presentan como un sistema energético ecológico y fiable para zonas remotas, así también, su uso está en aumento ubicado a estos sistemas como problemas para realizar un dimensionamiento óptimo y rentable. En este artículo se evalúan diferentes algoritmos evolutivos para satisfacer de forma continua la demanda de carga con el mínimo coste total anual (TAC). Para lo cual se modelan todos los módulos de la MR, se define una función objetivo basada en el TAC, considerando un límite de pérdida de suministro de energía para cada MR de 5%, permitiendo garantizar un sistema fiable. Dentro de los algoritmos evolutivos se encuentran optimización por enjambre de partículas (PSO), recocido simulado (SA) y búsqueda tabú (TS); en los algoritmos metaheurísticos se encuentran optimización mejorada por enjambre de partículas (IPSO), la búsqueda armónica mejorada (IHS), el recocido simulado basado en la búsqueda armónica mejorada (IHSBSA), y el optimización artificial de enjambre de abejas (ABSO). Estos métodos se aplican a un caso de estudio real, observando que ABSO no solo tiene resultados más prometedores, sino que presenta mayor robustez.

A la luz de estos estudios previos, el presente Trabajo de Integración Curricular se orienta a realizar la “OPTIMIZACIÓN DE UNA MICRORRED MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL DIMENSIONAMIENTO Y LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE GENERACIÓN RENOVABLE Y BANCO DE BATERÍAS PARA UN PERFIL DE CONSUMO PROMEDIO DE 800KW”. Para esto, se empieza proyectando el perfil de demanda energética mensual de 800kWh a partir del estudio semanal de una vivienda de tres habitantes. Así también, se empieza definiendo dos escenarios de componentes, el primer escenario se conforma por componente de baja potencia, mientras que en el escenario dos se eligen componentes que superen las potencias nominales de los paneles y turbinas del primer escenario, y por último el módulo de almacenamiento se define por la misma batería en cada escenario.

Posteriormente, se seleccionan dos sectores, en donde, el recurso renovable eólico y solar es prometedor, como es el caso del sector El Aromo ubicado en Manta, sector en el cual se pretende instalar sobre los terrenos de la Refinería del Pacífico el proyecto fotovoltaico El aromo. Así también, se elige el sector El Arenal, puesto que, se pretende crear en este sector el Parque eólico

El Arenal con una potencia instalada de 50MW. De estos dos sectores se descarga de la base de datos de la NASA los recursos energéticos como la irradiación global horizontal para la generación fotovoltaica y la velocidad del viento a 10M para la generación eólica, y se evalúa cada escenario en cada sector para obtener la generación eólica y solar de cada escenario en cada sector.

Los perfiles de generación obtenidos son evaluados dentro del algoritmo PSO para determinar el costo mínimo de inversión de la MR en base a las variables de optimización, paneles, baterías y turbinas; así también, garantizar un sistema confiable a través de la restricción de la pérdida de suministro de energía, ésta no debe ser superior al 2% de la demanda en cada periodo evaluado. A través de la implementación del algoritmo PSO se pretende obtener un sistema de generación renovable y banco de baterías con un costo mínimo, garantizando un abastecimiento constante de energía sin que existan pérdidas de suministro de energía o que estas o superen el límite establecido.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

Las microrredes eléctricas generan y consumen electricidad, éstas se presentan como una opción viable valiéndose de las energías renovables, creando auto sostenibilidad en los sistemas de generación eléctrica, además, generando excedentes de energía que se pueden proporcionar a la red eléctrica externa a la que se conecte y mitigando la contaminación del medio ambiente. Generalmente están formadas por diversos sistemas eléctricos de potencia (SEP) interconectados, los mismos que pueden ser modelados en diferentes entornos de simulación.

La simulación de las redes eléctricas ha sido una herramienta fundamental en la construcción de los SEP y en la verificación de los mismos, debido a que se presentarían con adelanto aquellas causas, como factores técnicos, costos, tiempo o implementación errónea de las mismas, que imposibilitarían su implementación.

Se hace necesario el desarrollo de simulaciones, para obtener parámetros de referencia, que permitan el desempeño óptimo de la red eléctrica y componentes. La optimización a alcanzar, se enfoca en la estabilidad de la red eléctrica, tanto en la generación de energía eléctrica, la distribución de la misma hacia las cargas, así también, en el proceso de almacenamiento de la energía eléctrica en un banco de baterías. Ésta optimización va de la mano con la relación costo beneficio, es decir, reducir costos de implementación sin perder la fiabilidad y estabilidad de la red eléctrica.

Por otro lado, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se desarrolla el proyecto de investigación titulado “ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN MERCADO ELÉCTRICO COMUNITARIO MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE GENERACIÓN RENOVABLE, SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA LOCAL Y ALGORITMOS DE CONTROL INTELIGENTE”. La finalidad de este proyecto es investigar sobre la incidencia de las microrredes y generación renovable en lo que se denominan micro-mercado energético para buscar incidir positivamente en la estructura eléctrica del país.

1.2 Justificación teórica

Existen varios factores que influyen al desarrollo de las microrredes, uno de ellos es, la contaminación ambiental a gran escala que se produce en la generación de energía cuando ésta se obtiene a través de procesos no renovables como la combustión, el alto costo y pérdidas de energía en el transporte desde las fuentes de generación hasta los puntos de demanda. Las pérdidas significativas producidas en el transporte de energía deben ser contrarrestadas, por lo que se opta en una inversión de alto costo para que esta energía sea óptima, fiable y el servicio de electricidad

sea continuo. Expuestos estos factores que implican un alto costo de producción y un alto índice de contaminación ambiental, se promueve el uso de fuentes de energía renovable creándose las microrredes, que tienen como objetivo brindar una distribución de energía eficiente, fiable y de alta estabilidad.

Por tanto, el presente proyecto de investigación, nace a través de la interrogante de cómo optimizar los costos de inversión de aquella microrred mediante el dimensionamiento y la ubicación de las fuentes de generación de energía renovable y el sistema de almacenamiento de energía, el proceso de optimización se desarrolla con simulaciones, que no sólo servirían para el perfil de consumo establecido, sino también, para cualquier sistema a implementar, de esta manera a través de la simulación conocer la eficiencia y fiabilidad del sistema diseñado, ahorrando tiempo, dinero y obteniendo un sistema de calidad en el sentido de optimización de la generación, distribución y costo de la microrred.

Finalmente, es importante indicar que la presente propuesta formará parte del proyecto de investigación “ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN MERCADO ELÉCTRICO COMUNITARIO MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE GENERACIÓN RENOVABLE, SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA LOCAL Y ALGORITMOS DE CONTROL INTELIGENTE” que se desarrolla en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo como parte de las actividades de dimensionamiento, modelación y simulación de microrredes a base de generación renovable y bancos de baterías.

1.3 Justificación aplicativa

El estudio e investigación que se desarrollará en el presente proyecto tiene como objetivo proponer un sistema que simule la operación de una microrred, bajo estas circunstancias, se propone un perfil de consumo promedio de 800kW, con tal perfil de consumo se tiende a un diseño inicial de los sistemas que forman microrred, posteriormente, se determinan parámetros estándares para que la microrred funcione de manera que se dé una distribución de energía eléctrica apropiada, estable, fiable y sin fallos.

A través del análisis se selecciona el área geográfica con mejores perfiles de irradiación solar para la aplicación de paneles solares y velocidad de viento para la aplicación de aerogeneradores. La microrred a diseñar se fundamenta en seleccionar el sistema de generación y almacenamiento de tal forma que se genere energía eléctrica que satisfaga el perfil de consumo promedio establecido.

Dado que, la alimentación de la carga se hace en base a la demanda y los sistemas de generación renovable dependen de factores climáticos, se debe implementar un microrred que cuente con un banco de baterías, así, cuando el sistema de generación no produzca la energía eléctrica demandada, el banco de baterías alimente las cargas para cubrir la demanda. Con lo predicho, en

la microrred a diseñar se tiene presente la aplicación del sistema de generación, sistema de almacenamiento, y perfil de demanda energética.

1.4 Objetivo general

- Optimizar el diseño de una microrred mediante el análisis del dimensionamiento y localización geográfica de generación renovable y banco de baterías para un perfil de consumo promedio de 800KW.

1.5 Objetivos específicos

- Investigar el estado del arte relacionado a las microrredes, su operación y optimización, enfocado principalmente a la integración de generación renovable distribuida considerando aspectos como estabilidad eléctrica y costo-beneficio.
- Diseñar una microrred con mínimo 2 tipos de generación renovable y un banco de baterías considerando aspectos como dimensionamiento, ubicación y respuesta a las variaciones de generación y consumo orientados a la estabilidad eléctrica de la red.
- Modelar los sistemas de generación, almacenamiento, y demanda que conforman la microrred diseñada para simular el comportamiento del sistema frente a eventos transitorios
- Aplicar técnicas de optimización y de análisis de datos sobre el dimensionamiento y localización de las fuentes de generación y banco de baterías en la microrred diseñada mediante simulación considerando aspectos de estabilidad eléctrica de la red y costo-beneficio.
- Evaluar los resultados obtenidos del proceso de optimización de la microrred diseñada mediante análisis de estadística descriptiva univariable y bivariable.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Microrred

Una microrred (MR) provee de energía eléctrica en baja tensión y en algunos casos energía térmica a las cargas que se encuentran conectadas a dicha red, destaca la característica de poder autoabastecerse y así trabajar de forma independiente aunque ésta forme parte de la red eléctrica convencional (González y Ortiz 2016, p. 16).

2.1.1 *Elementos constitutivos*

En base a (Gaviria y Gómez 2018, p. 43-44), en una MR eléctrica se puede especificar de forma general los elementos que la componen, los mismos que se exponen a continuación:

- Sistema de generación distribuida: corresponde a la generación de energía eléctrica a pequeña escala, la misma que debe ser ubicada cerca de los puntos de consumo.
- Sistema de almacenamiento distribuido: hace referencia a las baterías, en las cuales se podrá almacenar la energía generada y no consumida por las cargas, y así, en un futuro requerimiento no exista desabastecimiento de la energía eléctrica.
- Componentes Activos: representa las cargas eléctricas que se encuentran conectadas a las microrred.
- Sistema de control: gestiona la operación de la MR, teniendo un control sobre los componentes de la misma con el único objetivo de lograr una mayor estabilidad en la red.

2.1.2 *Módulo de generación de energía*

De acuerdo con (Pendolema y Pantaleón 2018, p. 10-11), la generación de energía en una MR se puede establecer empleando fuentes de generación renovable o no renovable, por consiguiente si la generación se produce en pequeña escala y está ubicada próxima a los puntos de consumo se la denomina generación distribuida (GD). La GD es considerada como el elemento primordial en las microrredes debido a que el sistema de generación de energía se conecta de forma directa al sistema de distribución y se logra satisfacer la demanda, lo que no sucede en la generación convencional, en donde, el sistema de generación se conecta al sistema de transmisión para que la energía eléctrica pueda ser transportada hasta llegar a los puntos de consumo.

En (Posso 2002, p. 55-56), se considera al criterio de uso como variable principal para clasificar las fuentes de generación de energía, no obstante, precisa a la clasificación de fuentes de energía en renovables y no renovables como una de las clasificaciones generales.

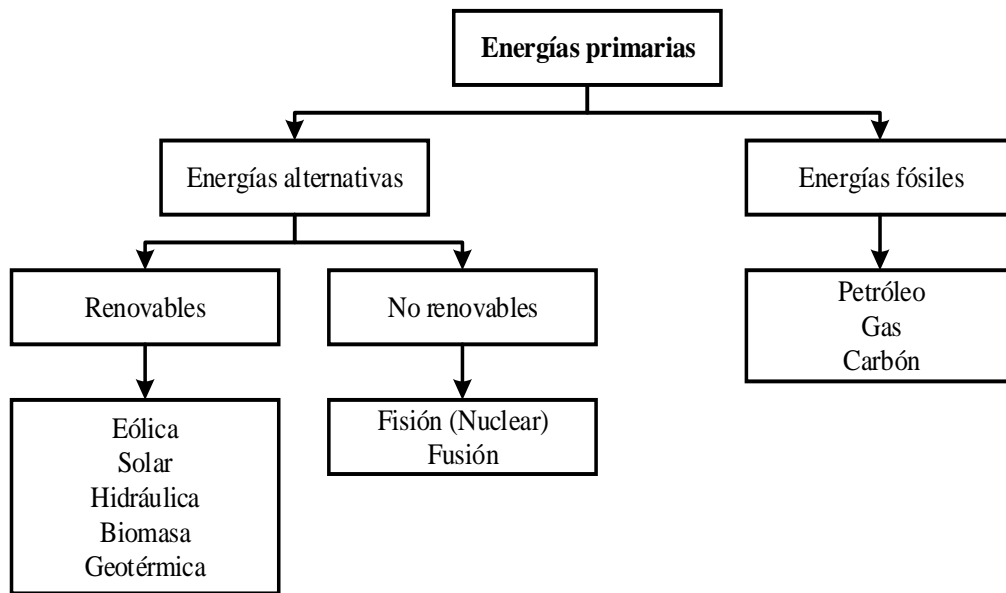


Ilustración 1-2: Clasificación de las fuentes de energía

Realizado por: (Tacuri, 2022)

En la Ilustración 1-2 se muestra la clasificación de las fuentes de energía considerando a la energía renovable y no renovable como una sub-clasificación. La energía renovable pertenece al género de las energías primarias, puesto que, se obtiene directamente de una fuente natural, y a su vez forman parte de las energías alternativas, dado que, no se obtiene a través de combustibles fósiles como el petróleo gas o carbón (Martínez De Hoz y Blanco 2018, p. 2-3).

2.1.2.1 Energía eólica

La energía eólica se obtiene a partir de aerogeneradores en movimiento, mismo que se produce por la incidencia del viento sobre la superficie del rotor, éstos se caracterizan por la disposición del eje de su turbina, clasificándolos como aerogeneradores de eje vertical y de eje horizontal (Martínez 2020, p. 29-30; León y Lojano 2017, p. 34), como se representa en la Ilustración 2-2.

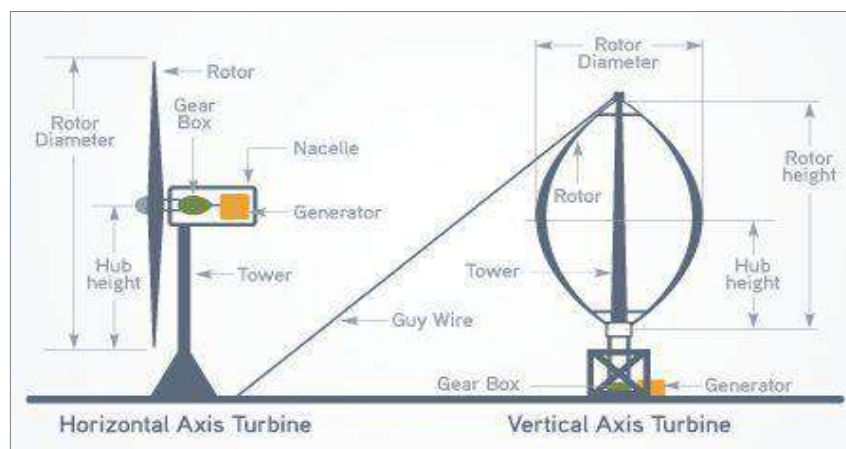


Ilustración 2-2: Aerogenerador con eje horizontal y eje vertical

Fuente: (León y Lojano 2017, p. 34)

Generalmente, para la generación de energía eléctrica se hace uso de aerogeneradores de eje horizontal. El mismo que está constituido por un rotor, eje de alta y baja velocidad, eje multiplicador un módulo de giro y comúnmente un generador asíncrono (Martínez 2020, p. 34).

2.1.2.2 Energía solar

De acuerdo con (Romero y Flores 2019, p. 24-26), al mencionar a la energía solar se hace referencia a la energía eléctrica obtenida por medio del sol. Esta energía se puede extraer de tres formas diferentes como son: la energía solar pasiva, “fotovoltaica” (PV, del inglés: *Photovoltaic*) y térmica. La energía PV se obtiene a través de módulos PV, en la Ilustración 3-2 se presenta un “panel fotovoltaico” (PPV, por sus siglas en inglés: *Panel Photovoltaic*) poli-cristalino y los elementos que lo componen. Los PPV reciben la radiación directa del sol y la transforman en energía eléctrica de tipo DC, que al ser tratada de manera oportuna puede servir para alimentar cargas en una microrred o el tendido eléctrico.

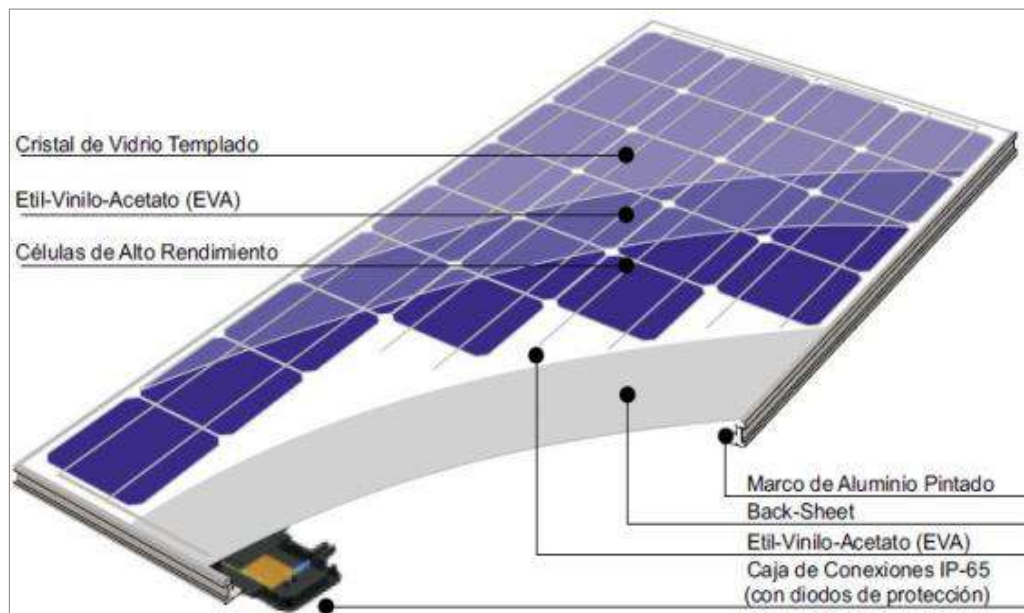


Ilustración 3-2: Componentes que forman un panel fotovoltaico poli-cristalino

Fuente: (León y Lojano 2017, p. 35)

En (Capacho Villamizar y Cárdenas Mantilla 2020, p. 19) se menciona que debido al crecimiento de implementación de generación de energía con PPV, diferentes laboratorios realizan pruebas con diferentes materiales semiconductores para las celdas solares, y con esto obtener mejores resultados de eficiencia, sin aumentar su costo de producción, por tanto, en la Tabla 1-2 se presenta una clasificación de las celdas solares usadas en paneles fotovoltaicos.

Tabla 1-2: Clasificación de celdas solares para paneles fotovoltaicos

Tipo	Descripción	Uso
Silicio cristalino	Celdas solares de silicio, con diferentes grados de pureza	Se instalan en techos de edificios y sistemas a gran escala
Película delgada (Thin - film)	Celdas solares compuestas de capas delgadas de telurio de cadmio o diselenuro de cobre, indio, galio	Empleados para aplicaciones portátiles, o en otros productos como ventanas para generar electricidad
Grupo III - Grupo V	Celdas solares compuestas por elementos de la tabla periódica: Grupo III y Grupo V	Se usan en satélites, vehículos aéreos no tripulados y en aplicaciones donde se requiera una alta relación de potencia - peso
Tecnologías emergentes	Celdas solares compuestas de materiales orgánicos, materiales híbridos (orgánicos - inorgánicos) y puntos cuánticos	Pueden ofrecer mayor facilidad de fabricación y costos más bajos. Se encuentran en desarrollo

Fuente: (Capacho Villamizar y Cárdenas Mantilla 2020, p. 19)

2.1.2.3 Generación renovable híbrida

Un “sistema híbrido de energía renovable” (HRES, por sus siglas en inglés: *Hybrid Renewable Energy System*), se compone por dos o más fuentes de generación renovable, como se describe en la Ilustración 4-2. Los sistemas híbridos están destinados para suministrar energía y alimentar cargas AC y/o DC que forman parte de una MR. Un HRES puede funcionar en una MR que opere en modo autónomo o en modo conectado a la red, por ende, la MR se puede conformar por energía “solar fotovoltaica” (SPV, por sus siglas en inglés: *Solar Photovoltaic*), “generador de turbina eólica” (WTG, por sus siglas en inglés: *Wind Turbine Generator*) y fuentes de energía de respaldo como: un conjunto de baterías o celdas de combustible. La disponibilidad de fuentes de energía de respaldo, es esencial para lograr un equilibrio en la distribución de energía en la microrred, caso contrario, el sistema de control que se encarga de la selección de las fuentes para abastecer la demanda, suministrará las cargas eléctricas, por tal razón es imperativo evitar la elección al azar de estos elementos (Dawoud, Lin y Okba 2018, p. 2040-2042).

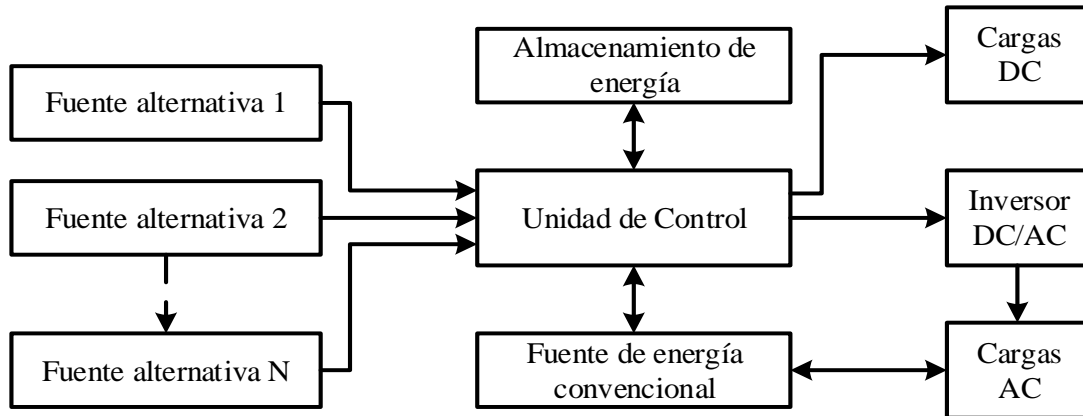


Ilustración 4-2: Esquema de elementos que conforman una MR con generación híbrida

Realizado por: (Tacuri, 2022)

El esquema de una MR con HRES se presenta en la Ilustración 5-2, en ésta se muestra la combinación de RES como, SPV y aerogeneradores de pequeña escala, y un sistema de almacenamiento que, dependiendo de los requerimientos y limitaciones de la MR puede o no, ser agregado. Comúnmente, el BB se implementa cuando existe consumo y la generación por parte de los RES no es suficiente para cubrir la demanda. Por otra parte, cuando la MR tiene diversas fuentes de generación, se tiene la captación de varios fenómenos al mismo tiempo, así, cuando una condición climática no favorezca en la generación de energía habrá otra condición de la que se podría obtener provecho; además, se destaca el hecho de reducir la capacidad de la batería debido a que se usa la combinación de RES permitiendo una mayor producción de energía (Dawoud, Lin y Okba 2018, p. 2042).

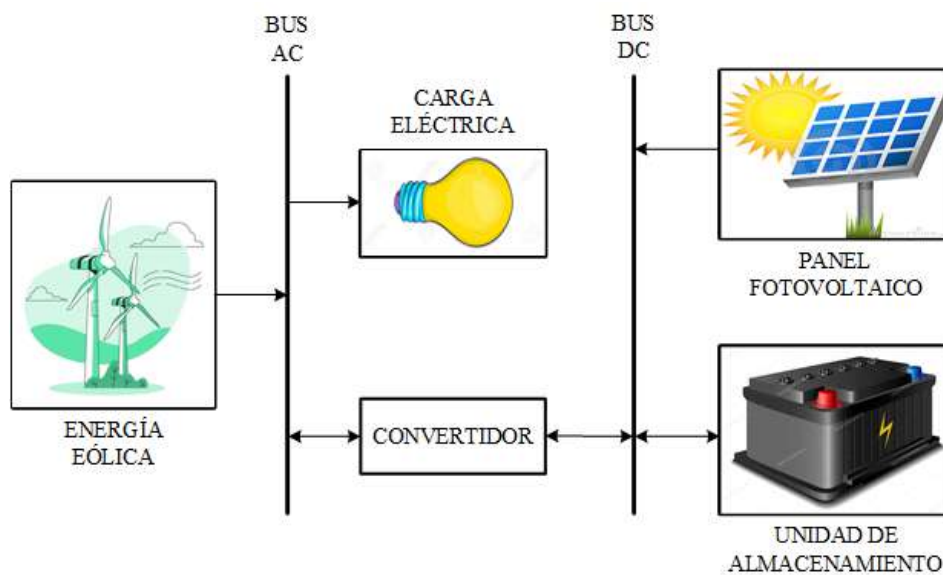


Ilustración 5-2: Diagrama general de una MR off-grid con HRES y BB

Realizado por: (Tacuri, 2022)

2.1.3 Módulo de almacenamiento

El almacenamiento de energía en una MR se puede definir por diferentes tecnologías. La elección de la tecnología se realiza en base a los requerimientos de la MR, a partir de esto, en la Ilustración 6-2 se presenta una clasificación más amplia de las tecnologías usadas para el almacenamiento de energía eléctrica (Villacis y Li 2017, p. 9-10).

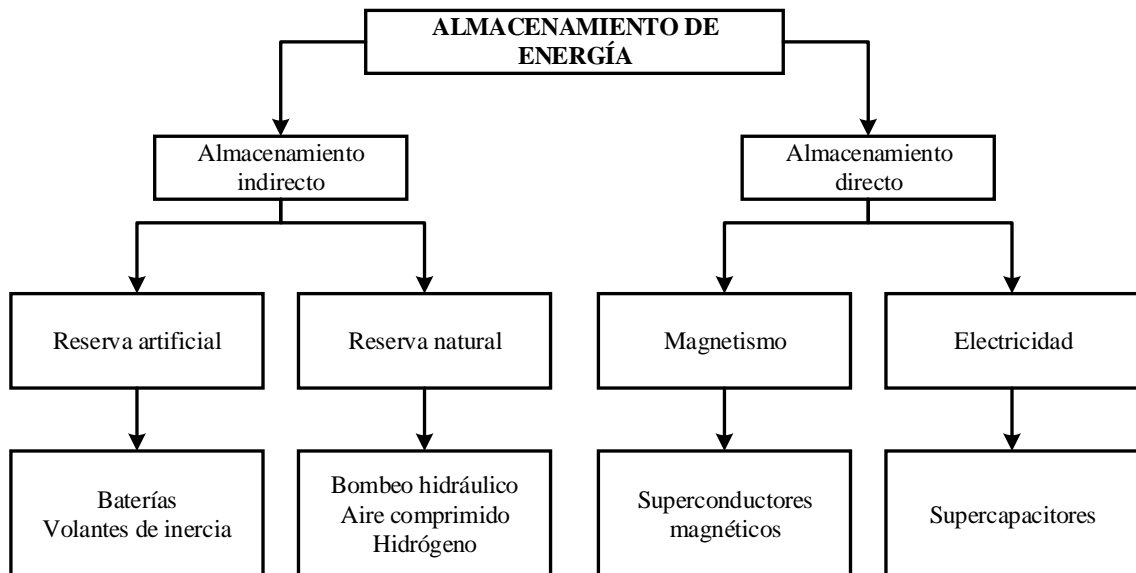


Ilustración 6-2: Clasificación de las tecnologías para el almacenamiento de energía eléctrica

Realizado por: (Tacuri, 2022)

La GD de una MR depende de las condiciones climáticas, condiciones que implica tener mayor complejidad en predecir si en todo momento se podrá satisfacer la demanda, y requerir de unidades de almacenamiento de energía o Cargas Distribuidas (CD) en el momento en que la generación supere la demanda (Villacis y Li 2017, p. 9-10).

2.1.3.1 Banco de baterías

Las baterías son dispositivos que operan con procesos electroquímicos que les permite recibir energía eléctrica, almacenarla y luego esta pueda ser entregada a la carga de interés. El proceso de receptor y transferir la energía a la carga se lo denomina ciclo. El límite de ciclos depende del acumulador que está integrado en batería, al completar el límite de ciclos la batería deberá ser reemplazada (Peña, Santos y Trujillo 2020, p. 4).

De acuerdo con (Capacho Villamizar y Cárdenas Mantilla 2020, p. 20), en el mercado se encuentran diferentes tipos de baterías, los cuales se diferencian por sus propias subdivisiones, hecho que dificulta poder establecer una clasificación de todos los tipos, no obstante, la clasificación más usada en el mercado se detalla en la Tabla 2-2, se debe recalcar que en esta clasificación predominan las baterías de plomo ácido.

Tabla 2-2: Clasificación de baterías para MR

Tipo	Características	Ventajas	Aplicación
Monoblock (Plomo ácido)	Tienen placas reforzadas con rejilla y aislamiento especial	Poco pérdida de agua Relación equilibrada de calidad/peso	Instalaciones PV pequeñas Generalmente en sistemas aislados
AGM (Plomo ácido)	Incorporan válvulas de regulación de gases	Resistencia interna baja	Cuando se requiere corrientes elevadas por pequeños lapsos
Estacionarias (Plomo ácido)	Usan placas y separadores gruesos con bajo contenido de antimonio	Vida útil superior a 10 años Ciclos de descarga profundos	En instalaciones con consumo diario y de largo periodo
Electrolito gelificado (Plomo ácido)	Poseen electrolito tipo gel de alta densidad	Largos periodos de funcionamiento Poco mantenimiento	En instalaciones de tamaño medio y grande
Litio	Aleación de Li-Fe que permite una descarga del 100% de su potencia	Carga rápida	En viviendas con sistemas de autoconsumo

Fuente: (Capacho Villamizar y Cárdenas Mantilla 2020, p. 20)

2.1.4 Modos de operación

En (Dawoud, Lin y Okba 2018, p. 2041-2042; Toro 2015, p. 4-5) se describe a una MR como un sistema que puede poseer la capacidad de desconectarse y reconectarse a la red de tendido eléctrico, dicho esto se define una clasificación de los modos de operación de la MR que a su vez se relacionan con los RES que se pueden adaptar. Esta clasificación se indica en la Ilustración 7-2. A continuación se detallan las características de cada modo de operación:

2.1.4.1 Operación conectada a la red pública

En este modo de operación (on-grid), la energía que abastece a la MR se da desde el tendido eléctrico, no obstante, se hace un seguimiento y control para definir si ésta energía está siendo consumida o almacenada, así también, puede existir la transmisión de energía desde el sistema de generación hasta el tendido eléctrico (Toro 2015, p. 4-5).

Generalmente, la operación conectada a la red, es el modo de funcionamiento normal de una MR. El modo normal de operación se caracteriza por una alimentación total de las cargas presentes en la microrred a través del tendido eléctrico, sin ninguna otra energía que altere el proceso de satisfacer la demanda (Anam, Shah y Alí 2018, p. 34-35).

2.1.4.2 Operación aislada de la red pública

Operación aislada o modo isla (off-grid) se presenta cuando la MR se encuentra desconectada de la red de tendido eléctrico o red pública, ya sea por una falla en el sistema o que se desconecte de forma intencional (Chica y Guamán 2017, p. 43-44).

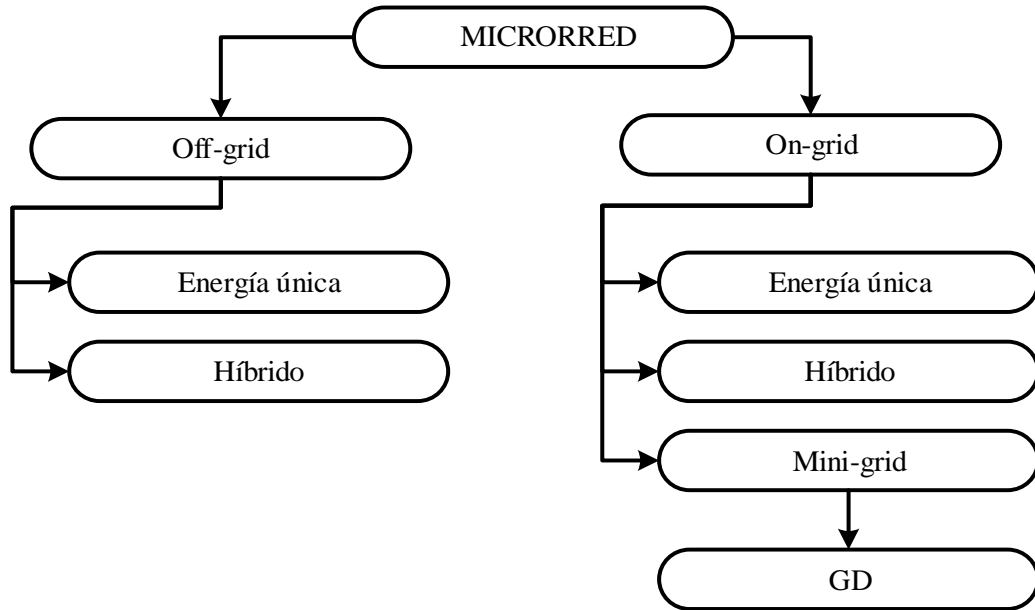


Ilustración 7-2: Modos de operación de una MR

Realizado por: (Tacuri, 2022)

2.1.5 Clasificación según el bus común de distribución

De acuerdo con (Anam, Shah y Alí 2018, p. 34-36; Pérez 2017, p. 10-12), una MR puede operar como un sistema monofásico o trifásico, de sobremanera puede ser sincronizada con la red eléctrica de baja o media tensión, así también, la red eléctrica de una MR se la puede clasificar dependiendo del tipo de energía que se presenta en el bus de distribución de la MR, ésta clasificación se indica en la Ilustración 8-2.

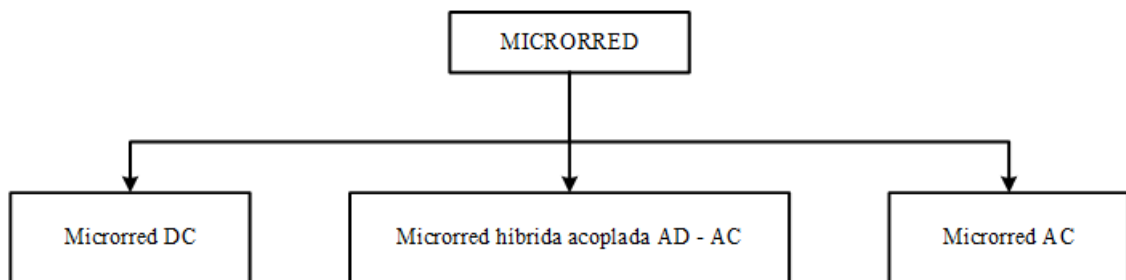


Ilustración 8-2: Clasificación de las MR según el bus común de distribución

Realizado por: (Tacuri, 2022)

2.1.5.1 MR en corriente continua (CC)

El esquema de una MR de CC se muestra en la Ilustración 9-2. Una MR con sistema de operación de CC es comúnmente usada en zonas donde la demanda de consumo no es elevada, la cantidad de consumidores es reducida y no existen grandes distancias entre ellos (Pérez 2017, p. 10-12).

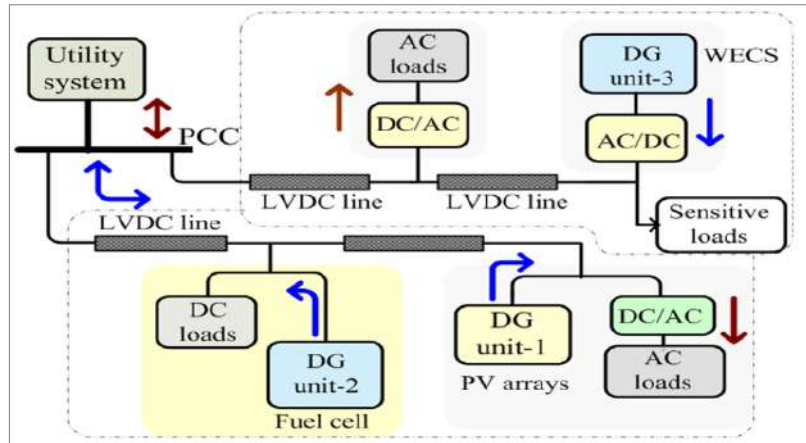


Ilustración 9-2: Esquema de MR con bus CC conectada a cargas CC y CA

Fuente: (Guamán 2017, p. 6)

El uso más destacado de una MR de CC se da en el sistema de distribución de una industria, esto con el fin de mantener alimentadas las cargas de alta sensibilidad, la infraestructura de telecomunicación y transmisión de larga distancia punto a punto, lo que conlleva a que el sistema de distribución de corriente de la MR de CC aumente su eficiencia en la entrega de energía a la red de distribución y con ello la energía eléctrica sea de mejor calidad, no obstante, en las MR de CC se da el caso de que no se puede hacer uso de una protección contra fallas para el circuito de potencia (Guamán 2017, p. 6-7; Neves 2018, p. 5-7). En la Tabla 3-2, se exponen cargas eléctricas que comúnmente se encuentra en un hogar, las mismas que son alimentadas por energía DC.

Tabla 3-2: Cargas de CC comunes en una vivienda

N°	Cargas de CC	Voltaje nominal [V]	Corriente nominal [A]	Potencia nominal [W]
1	Laptop	20	4.5	-
2	Celular	5	550m	-
3	Linterna	6.5	500m	-
4	Parlante de PC	5	2.5	-

Realizado por: (Tacuri, 2022)

2.1.5.2 MR en corriente alterna (CA)

El esquema de una microrred de CA se indica en la Ilustración 10-2. En el sistema de CA las cargas que se encuentran conectadas a la MR son cargas que trabajan en CA y DC. Las MR de AC poseen mayor ventajas al momento de transportar la energía hasta el lugar de consumo, entre ellas resalta, disminución de pérdidas en la conducción y a su vez su fácil proceso de transformar a los diferentes niveles de tensión según los requerimientos (Anzures 2018, p. 21).

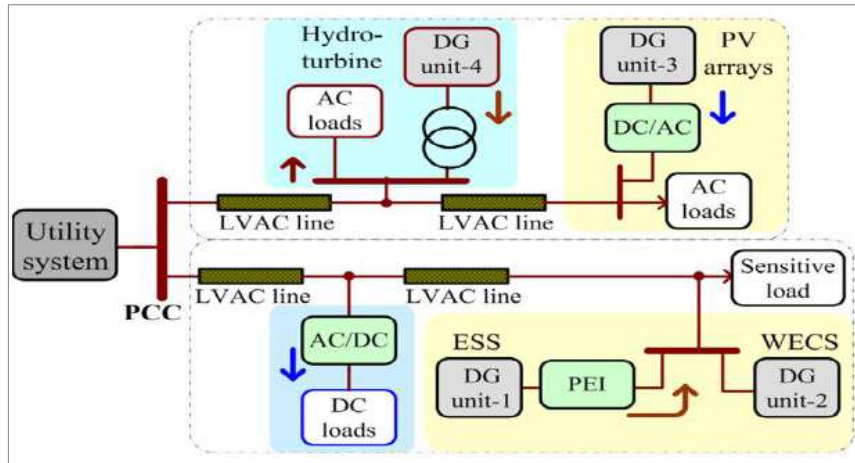


Ilustración 10-2: Esquema de MR con bus CA conectada a cargas CC y CA

Fuente: (Guamán 2017, p. 7)

Este sistema se caracteriza por su conexión directa al tendido eléctrico convencional, destacando como principal ventaja la conexión directa a las cargas. En la Ilustración 10-2, se muestra que en una MR de CA se minimiza el tamaño de los convertidores AC-DC para operar los flujos de energía entre el tendido eléctrico y la red de corriente continua, teniendo como resultado un menor costo de implementación en la MR (Guamán 2017, p. 7-8). En la Tabla 4-2, se exponen cargas eléctricas que comúnmente se encuentra en un hogar, y son alimentadas por energía AC.

Tabla 4-2: Cargas de CA comunes en una vivienda

N°	Cargas de CA	Voltaje nominal [V]	Corriente nominal [A]	Potencia nominal [W]
1	Refrigerador	110-115	-	-
2	Congelador	115	-	125
3	Licuada	120	-	600
4	Exprimidor de jugo	110	-	25
5	Máquina de coser	110	5.6	372.85
6	Caminadora	110	-	1118.55
7	Cocina eléctrica	110	-	447.6
8	Batidora	110-120	-	100
9	Plancha	127	-	1200
10	Televisor LG	100-240	1.2	-
11	Televisor Innova	100-240	-	55
12	Impresora	100-240	1.2	-
13	Tostadora	120	-	1200
14	Lavadora de ropa	120	-	580

Realizado por: (Tacuri, 2022)

Las MR de CA trabajan a un voltaje y frecuencia comúnmente aplicado en sistemas de distribución convencional debido a que estos poseen una gran flexibilidad, por ende, son ampliamente aplicadas en edificios o en la industria, dado que, garantizan una energía eficiente y confiable (Guamán 2017, p. 7-8).

2.1.5.3 MR híbrida

El esquema general de una MR híbrida AC y DC se muestra en la Ilustración 11-2, este tipo de MR se forma a partir de la combinación de MR de CA y MR de CC, no obstante, a su sistema de energía se agregan dispositivos destinados al control de flujo de energía y convertidores bidireccionales. Debido a su estructura se obtiene un mayor provecho de los diferentes sistemas de generación de energía que integran la MR, puesto que, se puede conectar cargas AC y DC directamente a los buses de energía, además, se garantiza un decremento de pérdidas debido a la conversión de energía (Anam, Shah y Alí 2018, p. 35-36).

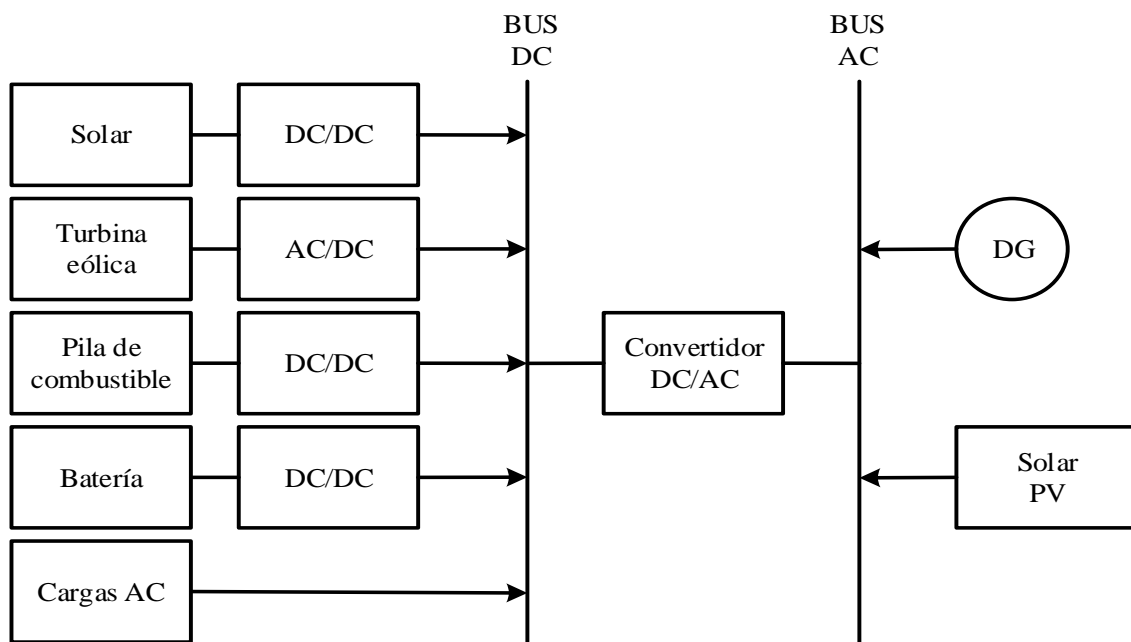


Ilustración 11-2: Esquema general de MR híbrida

Realizado por: (Tacuri, 2022)

2.2 Demanda energética y potencial eléctrico renovable

2.2.1 Perfiles de consumo eléctrico residencial

En (Rashid et al. 2021, p. 7-8) se presentan 3 perfiles de consumo estimados, ver Ilustración 12-2, Ilustración 13-2, e Ilustración 14-2, estos representan el consumo de clientes residenciales en un lapso de 96 horas. La Ilustración 12-2, muestra un perfil de consumo en condiciones de alta demanda con una carga pico de 0.43 kW; en la Ilustración 13-2, bajo condiciones de pico medio la carga tiene un máximo de 0.42 kW; y en la Ilustración 14-2, se tiene una carga máxima de 0.32 kW en condiciones fuera de pico.

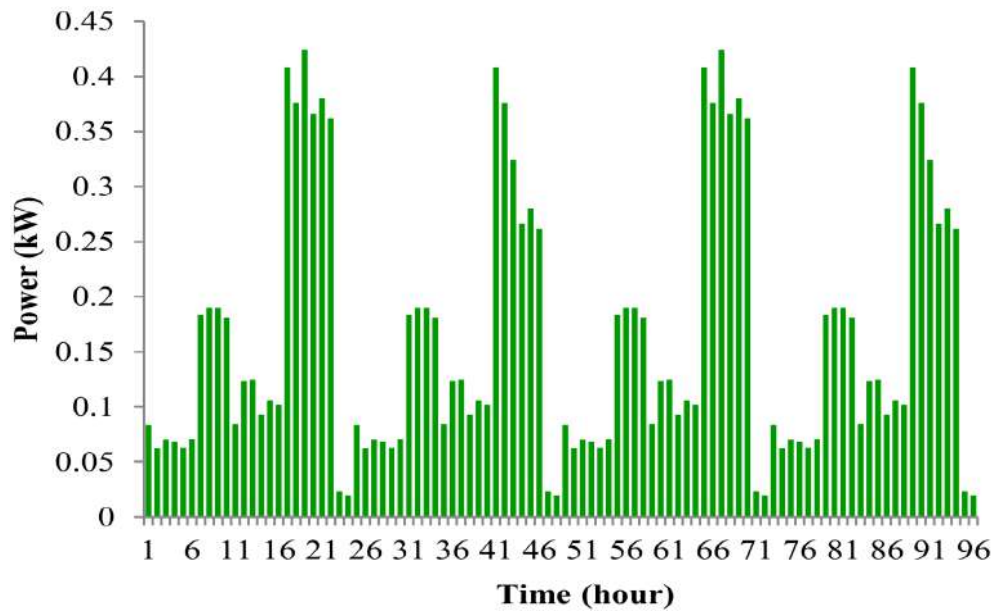


Ilustración 12-2: Perfil de demanda residencial en un lapso de 96h – (condiciones pico)

Fuente: (Rashid et al. 2021, p. 7)

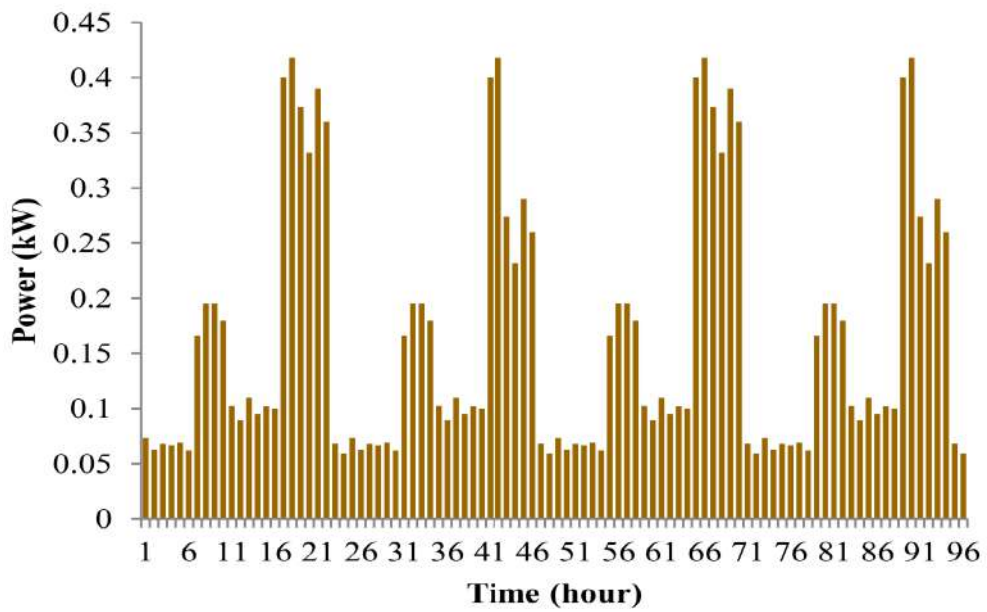


Ilustración 13-2: Perfil de demanda residencial en lapso de 96h – (condiciones pico medio)

Fuente: (Rashid et al. 2021, p. 8)

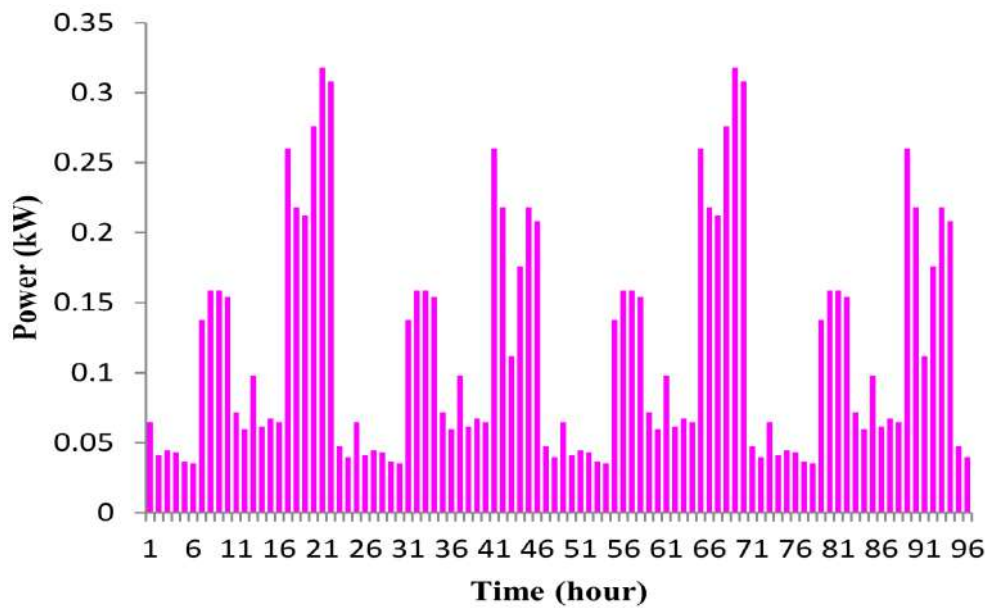


Ilustración 14-2: Perfil de demanda residencial en lapso de 96 – (condiciones fuera de pico)

Fuente: (Rashid et al. 2021, p. 8)

De acuerdo con (Rashid et al. 2021, p. 7-8), el perfil de consumo en condiciones fuera de pico es adecuado para satisfacer la demanda de consumidores residenciales, no obstante, se puede diversificar varios perfiles de consumo en uno solo, o a su vez, considerar un perfil de consumo similar, dado que, este perfil de consumo puede satisfacer la demanda de dispositivos eléctricos como focos, lavaplatos, refrigerador, televisor, etc.

2.2.2 Irradiación global horizontal

La radiación que un metro cuadrado de la superficie terrestre recibe es denominada radiación horizontal, y es comprendida por la radiación directa, radiación difusa o dispersa y la radiación reflejada («La radiación solar» [sin fecha]). En la Ilustración 15-2 se muestra la radiación global horizontal en el Ecuador.

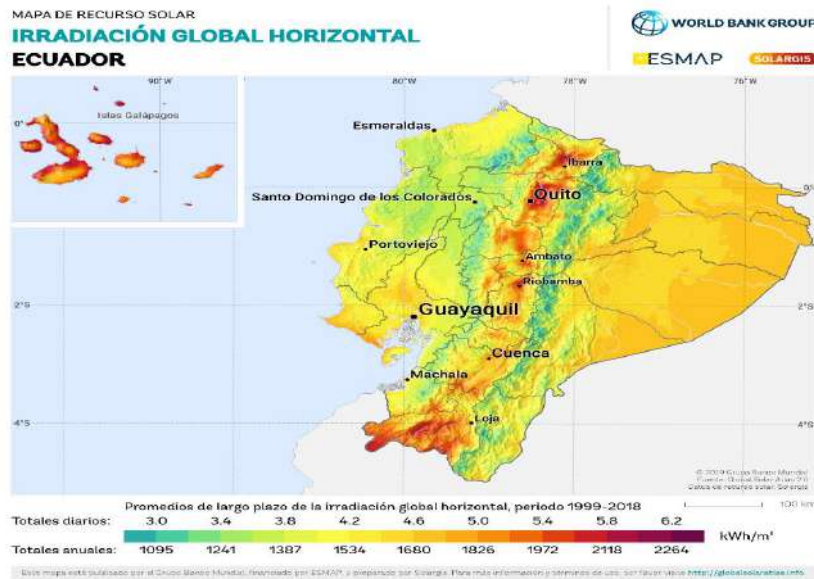


Ilustración 15-2: Irradiación global horizontal, periodo 1999-2018

Fuente: («Mapas de recursos solares de Ecuador» [sin fecha])

El ángulo de inclinación de la radiación es el factor determinante de la intensidad de la radiación solar. Además, cuando los rayos del sol inciden perpendicularmente sobre una superficie se tiene el máximo aporte sobre la superficie («La radiación solar» [sin fecha]).

2.3 Modelado matemático

2.3.1 Sistema fotovoltaico

Las células solares de un PPV convierten la radiación solar en energía eléctrica, asimismo, el recurso energético solar depende de factores como la condición atmosférica y la ubicación geográfica (Dhundhara, Verma y Williams 2018, p. 124). Por consiguiente, la estimación de la potencia de salida del PPV depende de la radiación solar incidente en su superficie, condiciones climáticas locales y potencia nominal; y se representa en la siguiente fórmula (Zhu, Guo y Zhao 2021, p. 3-4; Zhang y Gan 2018, p. 2-3; Haidar, Fakhar y Helwig 2020, p. 7):

$$P_{pv}(t) = f_{Pv} * P_{STC} * \frac{G}{G_{STC}} * [1 + \alpha_p * ((T_{cell} + 0.0256 * G) - T_{STC})]$$

Donde: P_{pv} corresponde a la potencia de salida del PPV, f_{Pv} es el factor de reducción de potencia fotovoltaica que tiene en cuenta los efectos que causan un cambio en la producción de energía solar fotovoltaica esperada, como el polvo en el panel, pérdidas en los cables, incluido el punto de potencia máxima (generalmente 0,9), P_{STC} es la salida de potencia nominal del PPV en condiciones de prueba estándar (STC, por sus siglas en inglés: *Standard Test Conditions*), G corresponde a la radiación solar total en la superficie inclinada del PPV [kW/m^2], G_{STC} es la irradiancia en STC ($1kW/m^2$), α_p es definido por el coeficiente de temperatura de potencia del PPV [%/°C], T_{cell} es la temperatura en la superficie del PPV [°C], T_{STC} corresponde a la

temperatura en la superficie del PPV en STC (25°C). De acuerdo con (Rashid et al. 2021, p. 5-6), para un sistema fotovoltaico de gran escala, la producción global del sistema se define como:

$$P_{pvT} = P_{pv} * N_s$$

Donde: N_s representa la cantidad total de PPV

2.3.2 Sistema eólico

De acuerdo con (Kiehadrouinezhad, Merabet y Hosseinzadeh-Bandbafha 2021, p. 3; Rashid et al. 2021, p. 4-5), la abundancia, disponibilidad y las cero emisiones de carbono son las cualidades que caracterizan a la energía eólica, convirtiéndola en una de las fuentes más significativas y rentables dentro de la generación de electricidad dentro de los distintos recursos renovables. La generación eólica se basa en la transformación de la energía cinética de la turbina en energía mecánica, que a través de un generador se convierte en electricidad. Esta generación es intermitente y variable, por ende, existen dos parámetros que influyen en la cantidad de potencia generada por la “turbina eólica” (WT, por sus siglas en inglés: *Wind Turbine*), estos son la velocidad del viento y la altura del rotor del WT, que se relacionan utilizando la siguiente ecuación:

$$\frac{V}{V_o} = \left(\frac{h}{h_o}\right)^\alpha$$

En esta ecuación V y V_o representan las velocidades del viento a la altura h y h_o o altura de referencia; y α representa el exponente de la ley de poder, y se define como 0.142 para el espacio libre (Kiehadrouinezhad, Merabet y Hosseinzadeh-Bandbafha 2021, p. 3; Rashid et al. 2021, p. 4-5). En consecuencia la energía eólica depende de la velocidad del viento; y la potencia generada se determina con la siguiente función a trozos (Kharrich et al. 2021, p. 7; Kiehadrouinezhad, Merabet y Hosseinzadeh-Bandbafha 2021, p. 3):

$$P_{wind} = \begin{cases} 0 & V(t) \leq V_{ci} \vee V(t) \geq V_{co} \\ a * V(t)^3 - b * P_r & V_{ci} < V(t) < V_r \\ P_r & V_r \leq V(t) < V_{co} \end{cases}$$

Donde: V representa la velocidad del viento, V_r representa la velocidad de viento nominal, V_{ci} y V_{co} representan las velocidades cut-in y cut-out respectivamente, P_r representa la potencia eólica nominal y a y b son constantes definidas por las siguientes ecuaciones:

$$a = \frac{P_r}{V_r^3 - V_{ci}^3}; \quad b = \frac{V_{ci}^3}{V_r^3 - V_{ci}^3}$$

Conforme a (Kiehadrouinezhad, Merabet y Hosseinzadeh-Bandbafha 2021, p. 3; Rashid et al. 2021, p. 4-5), la potencia nominal cuando existe más de una WT se determina con:

$$P_{windT} = N_{wind} * P_{wind}$$

Donde: N_{wind} representa el número total de WT.

2.3.3 Sistema de almacenamiento

De acuerdo con (Rashid et al. 2021, p. 6-7; Dawoud, Lin y Okba 2018, p. 2045-2046; Zhu, Guo y Zhao 2021, p. 4), las baterías en una MR son unidades de almacenamiento de energía de respaldo, son diseñadas con precisión para que operen de manera eficiente, suavicen la fluctuación de la generación distribuida y mejoren la fiabilidad del sistema cuando la energía renovable generada por el HRES no es suficiente para cubrir la demanda, esto se consigue mediante el proceso controlado de carga y descarga del BB. Puesto que, las energías renovables son intermitentes pueden existir un déficit o exceso de energía, dicha energía puede ser representada con la siguiente ecuación (Ogunjuyigbe, Ayodele y Akinola 2016, p. 161-162):

$$E_{e_d} = E_{ren} - \frac{E_L(t)}{\eta_{inv}}$$

Donde: $E_L(t)$ es la demanda de energía en el momento t y η_{inv} es la eficiencia del inversor. Cuando $E_{e_d} > 0$ se tiene un exceso de energía, y cuando $E_{e_d} < 0$ existe un déficit de energía.

Conforme a (Ogunjuyigbe, Ayodele y Akinola 2016, p. 161-162), en el momento t la energía renovable total es:

$$E_{ren}(t) = X_1 * E_{pv}(t) + X_2 * E_{wind}(t)$$

El modelo de batería cinético (KiBaM, por sus siglas en inglés: *Kinetic Battery Model*), fue desarrollado por (Manwell y McGowan 1993), para baterías de plomo ácido, no obstante, puede utilizarse en el modelado de descarga de baterías de otro tipo. Este modelo de batería emula características importantes de las baterías, como el efecto tasa-capacidad y el efecto de recuperación (Jongerden y Haverkort 2017, p. 3-4).

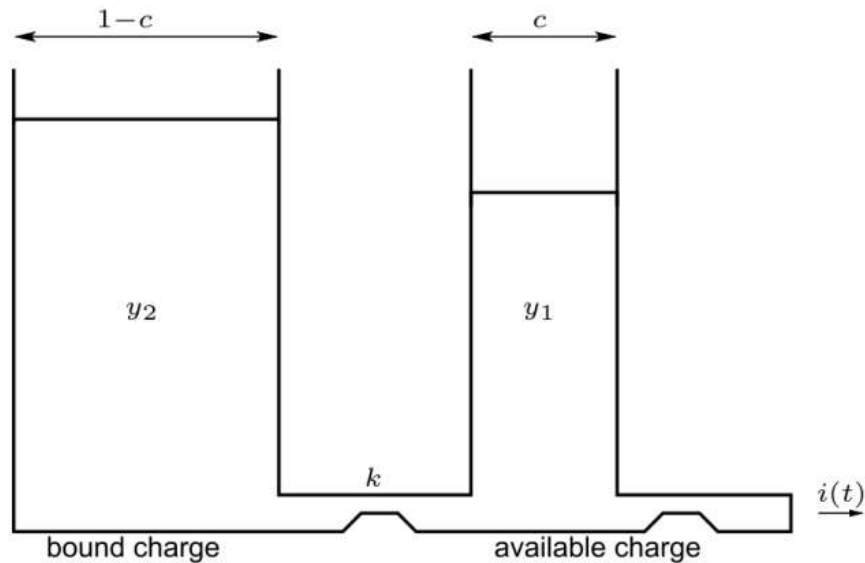


Ilustración 16-2: Modelo de batería cinético (KiBaM)

Fuente: (Jongerden y Haverkort 2017, p. 4)

De acuerdo con (Jongerden y Haverkort 2017, p. 3-4; Sandhu y Aeidapu 2018, p. 81-82; Wang y Yang 2013, p. 444-445), la Ilustración 16-2 muestra la representación de una batería para el modelo batería cinético, este modelo representa a una batería como dos tanques de diferentes tamaños, con la finalidad de describir los cambios dinámicos en la capacidad de la batería, es decir, la cantidad de energía que puede absorber o entregar en cada paso de tiempo. Cada tanque representa un tipo de carga, energía ligada (bound charge, y_2 o E_2) y energía disponible (available charge, y_1 o E_1). La cantidad total de energía almacenada en la batería es $E(t)$, definida como $E = E_1 + E_2$, y para el tiempo $(t + \Delta t)$ se definen como:

$$E_1(t + \Delta t) = E_1(t) * e^{-k\Delta t} + \left[(E(t) * kc + p) * \left(\frac{1 - e^{-k\Delta t}}{k} \right) + p * \frac{c}{k} * (k\Delta t - 1 + e^{-k\Delta t}) \right]$$

$$E_2(t + \Delta t) = E_2(t) * e^{-k\Delta t} + [E(t) * (1 - c) * (1 - e^{-k\Delta t}) + p * \frac{1 - c}{k} * (k\Delta t - 1 + e^{-k\Delta t})]$$

$E_1(t)$ es la energía disponible al inicio del paso de tiempo Δt , kWh; $E_2(t)$ es la energía ligada al inicio del paso de tiempo Δt , kWh; $E_1(t + \Delta t)$ es la energía disponible al final del paso de tiempo, kWh; $E_2(t + \Delta t)$ es la energía ligada al final del paso de tiempo, kWh; p es la energía de carga (positiva) y energía de descarga (negativa), kW; y Δt es la distancia del paso de tiempo, c es la relación entre el tamaño del depósito de energía disponible respecto al tamaño combinado de ambos depósitos, k relaciona la conductancia entre ambos depósitos, por tanto, es una medida de la rapidez para convertir la energía ligada en energía disponible y viceversa. La energía máxima de carga corresponde a la siguiente ecuación:

$$P_{cmax} = \frac{MIN(P_1, P_2, P_3)}{\eta_c}$$

Donde: η_c es la eficiencia de carga de la batería y P_1, P_2 y P_3 se definen por:

$$p_1(t) = \frac{-kcE_{max} + kE_1(t) * e^{-k\Delta t} + E(t)kc(1 - e^{-k\Delta t})}{1 - e^{-k\Delta t} + c * (k\Delta t - 1 + e^{-k\Delta t})}$$

$$p_2(t) = \frac{(1 - e^{-\alpha\Delta t}) * (E_{max} - E(t))}{\Delta t}$$

$$p_3(t) = \frac{N_{bat} * I_{max} * V_{nom}}{1000}$$

Donde: α es la tasa de carga máxima, A/Ah; E_{max} es la capacidad total del BB, kWh; N_{bat} es el número de baterías del BB, I_{max} es la corriente de carga máxima, A; y V_{nom} es el voltaje nominal, V. La potencia de descarga máxima de la batería es definida por:

$$P_{dmax} = \frac{\eta_d(E_1(t) * k * e^{-k\Delta t} + E(t) * k * c * (1 - e^{-k\Delta t}))}{1 - e^{-k\Delta t} + c * (k\Delta t + e^{-k\Delta t})}$$

Donde: η_d es la eficiencia de descarga de la batería

2.3.4 Función objetivo

De acuerdo con (Khezri et al. 2021, p. 7), las funciones objetivo financieras y de fiabilidad son los principales objetivos en el dimensionamiento de una microrred aislada, no obstante, también se pueden incluir las funciones objetivos relacionadas con las emisiones y cuestiones técnicas, por tanto, la selección de la función objetivo depende del tipo de estudio de la MR. Dentro de las funciones objetivos financieras se encuentra el costo anual neto (NPC, por sus siglas en inglés: *Net Present Cost*), que se calcula en base a los costos de capital, mantenimiento, reemplazo y recuperación de componentes, su expresión matemática se detalla en la siguiente ecuación:

$$NPC_k = P * C_c + P * C_m + P * C_r - P * C_s$$

Donde: $P * C_c$, $P * C_m$, $P * C_r$, $P * C_s$, representan los valores de capital, mantenimiento, salvación y sustitución. En base a (Dawoud, Lin y Okba 2018, p. 2045-2046; Kiehbardrouinezhad, Merabet y Hosseinzadeh-Bandbafha 2021, p. 3-4), cuando la energía almacenada y generada no es suficiente para abastecer la demanda energética para una momento t , se produce el fenómeno denominado como la “pérdida de la fuente de alimentación” (LPS, del inglés: *Loss of Power System*). De acuerdo con (Wang y Yang 2013, p. 445), para medir la fiabilidad del sistema se utiliza LPSP, que es la razón entre la energía demandada que el sistema no puede satisfacer y la demanda total, se puede expresar como:

$$LPSP = \frac{L(t) - E_E(t) - E_S(t) - E_B(t)}{L(t)}$$

Donde: $L(t)$ es la carga, $E_E(t)$ es la energía de generación eólica, $E_S(t)$ es la energía de generación solar y $E_B(t)$ es la energía de descarga de la batería. Generalmente LPSP se limita en un rango máximo de 0.2%, cuando $LPSP > 0,2\%$, LPSH se agrega una unidad. El costo de fiabilidad se calcula en base a $C_r = LPSH * \rho$, en donde, ρ es el valor de penalidad muy alto equivalente a 10^{10} .

2.4 Optimización

La optimización está en todas partes, y puede aplicarse para resolver problemas presentes en las cosas que se realizan de manera cotidiana, e incluso diferentes disciplinas de la ingeniería e industria. Se puede optimizar horarios del personal de una empresa, los sistemas económicos de cualquier entidad financiera, las formas de enseñanza en una institución educativa, en el área de la ingeniería se puede mencionar el diseño de aeronaves y estructuras aeroespaciales para conseguir un peso mínimo, así también, el diseño de estructuras de ingeniería civil como armazones, cimientos, puentes, torres y chimeneas con un coste mínimo. Generalmente, la optimización en la ingeniería o industria se aplica ya sea para minimizar el coste y el consumo de energía, o para maximizar la producción, el rendimiento o la eficiencia (Simon 2013, p. 1-11; Rao 2019, p. 1-5; Yang 2018, p. 1-101; Koziel y Yang 2011, p. 1-3).

2.4.1 Clasificación de los problemas de optimización

En base a (Yang 2018, p. 17-18), la terminología para la clasificación de problemas de optimización puede ser diversa y confusa, por tanto, en la Ilustración 17-2 se resume la clasificación de los problemas de optimización.

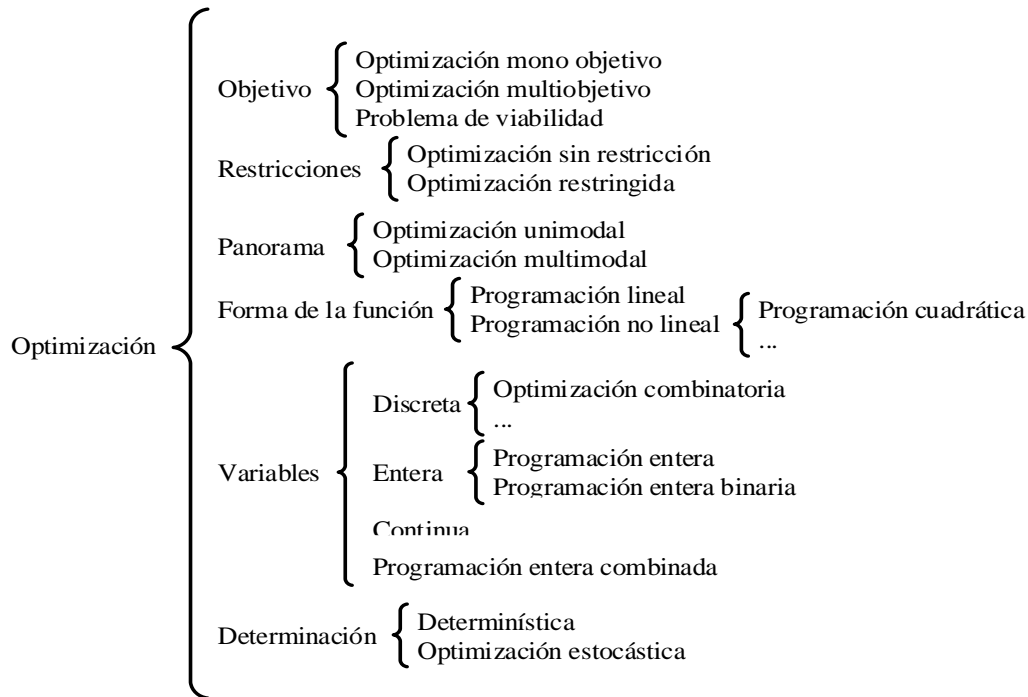


Ilustración 17-2: Clasificación de los problemas de optimización

Realizado por: (Tacuri, 2022)

De acuerdo con (Yang 2018, p. 17), varios factores influyen en un problema de optimización para que este sea fácil o difícil, entre ellos se menciona: no linealidad de la función objetivo, elevada dimensión del problema y la forma compleja de la investigación

2.4.2 Formulación del problema de optimización

La optimización consiste en seleccionar la mejor solución de un conjunto de soluciones factibles. Con lo predicho, si un problema está formulado por un objetivo y múltiples restricciones se tiene una optimización restringida y su solución satisface las restricciones del problema, caso contrario, sino presenta restricciones, el problema de optimización se denomina problema sin restricciones y su solución es el mínimo o máximo de una función (Yang 2018, p. 1-101; Arora 2015, p. 1-29).

De acuerdo con (Yang 2018, p. 35; Arora 2015, p. 1-5), en un problema de optimización se debe maximizar o minimizar una función, a la que se le denomina función objetivo o índice de rendimiento, además, cualquiera que sea la aplicación del mundo real, un problema de optimización puede expresarse en una forma matemática general. Si se tiene un problema de optimización con una función objetivo explícita, $f(x)$, éste puede expresarse como un problema de optimización con restricciones lineales, como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} & \text{Maximizar/minimizar } f(x), \quad x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in \mathbb{R}^n, \\ & \text{Sujeto a} \quad \phi_j(x) = 0 \quad (j = 1, 2, \dots, M), \\ & \quad \quad \quad \psi_k(x) \leq 0 \quad (k = 1, \dots, N) \end{aligned}$$

Donde: $f(x)$, $\phi_j(x)$ y $\psi_k(x)$ son funciones escalares del vector de diseño x . Los componentes x_i de $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ son denominadas variables de diseño o decisión, y pueden ser continuas, discretas o una mezcla de ambas.

2.4.3 Algoritmos de optimización

Conforme a (Ponce et al. 2014, p. 115; Du y Swamy 2016, p. 11), la alta dimensionalidad, multimodalidad, y la no diferencialidad, son características específicas que vuelven a los problemas de optimización de la vida real en un reto para ser resueltos a través de métodos de optimización exactos (técnicas clásicas de optimización), en consecuencia, se aplican algoritmos aproximados como un enfoque alternativo para la resolución de estos problemas.

Los algoritmos aproximados pueden ser desglosados en heurísticos y metaheurísticos. En donde, la heurística hace referencia a técnicas basadas en la experiencia para la resolución de problemas y el aprendizaje, además, proporcionan una solución satisfactoria en un tiempo de cálculo razonable, que no puede ser la óptima (Du y Swamy 2016, p. 9-11). Por otra parte, la metaheurística, es un procedimiento o heurística de alto nivel que, aplica reglas basadas en una fuente de conocimiento para encontrar, generar o seleccionar un procedimiento o heurística de nivel inferior que puede entregar una solución al problema de optimización. La metaheurística se enfoca en explorar el espacio de búsqueda de una manera eficiente, por lo que suelen considerarse como técnicas de búsqueda y de optimización de uso general. Cuando las metaheurísticas se usan para optimización no garantizan que convergerán al óptimo global del problema, pero si producen soluciones suficientemente buenas, en tiempos razonablemente cortos y con menos esfuerzo computacional que los métodos basados en cálculo o heurística simple (Du y Swamy 2016, p. 9-11; Coello 2019, p. 1-9).

De acuerdo con (Sengupta, Gupta y Dutta 2016, p. 699-701; Du y Swamy 2016, p. 9-11), las técnicas metaheurísticas se pueden clasificar de diversas formas, una de estas se basa en el número de soluciones iniciales que se modifican iterativamente, teniendo así: metaheurísticas basadas en una única solución y basadas en una población. Las metaheurísticas de solución única empiezan con una única solución inicial que se modifica iterativamente, se precisa mencionar que, la modificación puede implicar más de una solución, pero sólo se utiliza una única solución en cada iteración siguiente. Dentro de estas se encuentran las metaheurísticas basadas en la búsqueda local como la búsqueda tabú, búsqueda local iterada, búsqueda local guiada, la búsqueda de patrones, el algoritmo de Solis-Wets y la búsqueda de vecindario variable. Por otro lado, las metaheurística basada en una población, utilizan más de una solución inicial para comenzar; en el proceso de modificación se toman en cuenta varias soluciones y algunas de ellas pasan a la siguiente

iteración. Estas a su vez se clasifican en “algoritmos evolutivos” (EA, por su siglas en inglés: *Evolutionary Algorithms*), y algoritmos basados en “inteligencia de enjambre” (SI, por su siglas en inglés: *Swarm Intelligence*). Adicionalmente se considera que las metaheurísticas basadas en una única solución están orientadas a la explotación, mientras que las metaheurísticas basadas en poblaciones están orientadas a la exploración.

Otra forma de clasificación es a través del dominio que imitan, subcategorizándose en: EA, algoritmos basados en SI y algoritmos basados en fenómenos físicos. Los EA imitan aspectos de la evolución en la naturaleza, e intentan mejorar la solución candidata mediante operadores evolutivos, entre ellos se tienen: “algoritmos genéticos” (GA, por sus siglas en inglés: *Genetic Algorithm*), “estrategias evolutivas” (ES, por sus siglas en inglés: *Evolution Strategy*), “evolución diferencial” (DE, por sus siglas en inglés: *Differential Evolution*), “programación genética” (GP, por sus siglas en inglés: *Genetic Programming*), “programación evolutiva” (EP, por sus siglas en inglés: *Evolutionary Programming*), entre otros. Los algoritmos de SI imitan el comportamiento grupal y/o las interacciones de los organismos vivos y no vivos, utilizan reglas de actualización de posición diferencial para obtener nuevas soluciones candidatas. El resto de metaheurísticas imitan fenómenos físicos como el recocido de los metales, la estética musical, etc. Una cuarta subcategoría reúne a las metaheurísticas cuya fuente de inspiración no está clara, como por ejemplo: la “búsqueda tabú” (TS, por sus siglas en inglés *Tabu Search*) y la “búsqueda dispersa” (SS, por sus siglas en inglés: *Scatter Search*), o son escasas para tener una categoría por sí mismas (Sengupta, Gupta y Dutta 2016, p. 699-701; Du y Swamy 2016, p. 237).

En base a (Du y Swamy 2016, p. 237; Ponce et al. 2014, p. 178; Yang 2018, p. 297), los métodos de SI son populares debido a su simplicidad, fácil adaptación al problema en cuestión, y su eficacia al resolver una amplia gama de problemas complejos. Estos métodos son fáciles de implementar en comparación con los GA, dado que, no se realiza codificación o decodificación de los parámetros de las cadenas binarias. Algunas de las técnicas que se encuentran en esta subcategoría son: “Optimización de enjambre de partículas” (PSO, por sus siglas en inglés: *Particle Swarm Optimization*), “Optimización de colonias de hormigas” (ACO, por sus siglas en inglés: *Ant Colony Optimization*), y “Colonia de abejas artificiales” (ABC, por sus siglas en inglés: *Artificial Bee Colony*).

2.4.3.1 Algoritmo genético

De acuerdo con (Arora 2015, p. 140-141; Rao 2019, p. 697-701), los AG se basan en el principio de supervivencia del más apto, esto es, la población se somete a muchas transformaciones, después de algunas generaciones, cuando la población no resiste más, se tendrá al mejor individuo que representará la solución óptima. En los AGs se trabaja con una población de puntos, que dan valor a la función objetivo o también denominado, aptitud de cada individuo de la población. Con lo predicho, los individuos que presenten un mayor valor de aptitud, se someten a operadores

genéticos como la reproducción, cruces y mutaciones con el objetivo de mejorar la descendencia en comparación con sus padres. La reproducción, los cruces y mutaciones son operadores genéticos del AG y trabajan con los individuos codificados en cadenas binarias. Los nuevos valores de los individuos que han sido sometidos a operaciones genéticas se calculan decodificando las cadenas binarias. Posterior a esto, con el valor decodificado se calcula la aptitud de cada individuo en la nueva población, completándose una generación (iteración) del AG. Este procedimiento es el principio de trabajo de los AGs y se representa en el diagrama de flujo de la Ilustración 18-2.

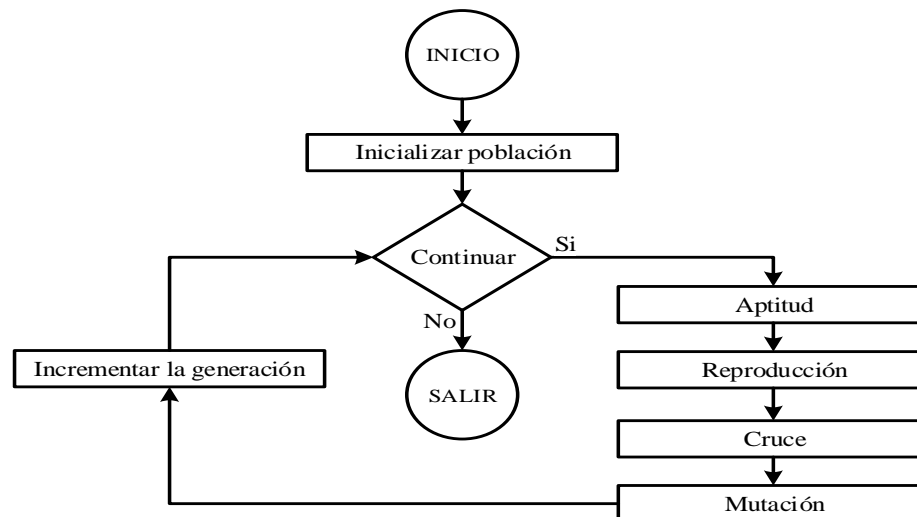


Ilustración 18-2: Operaciones fundamentales en el AG

Realizado por: (Tacuri, 2022)

En (Rao 2019, p. 697-701), se detallan las tres operaciones de los AGs: la reproducción, o también, llamado operador de selección, dado que, elige las buenas cadenas de la población para formar un grupo de apareamiento, es decir, el operador selecciona las cadenas superiores a la media de la población actual e inserta copias múltiples en el conjunto de apareamiento, basándose un procedimiento probabilístico. Después se presenta el operador de cruce, que elige al azar dos cadenas individuales del grupo de apareamiento para intercambiar información entre ellas, con el objetivo de crear nuevas cadenas. Las dos cadenas seleccionadas por el operador de cruce se conocen como cadenas padre, por otro lado, las cadenas generadas se denominan cadenas hijas. Con lo predicho, el operador de cruce es el principal operador mediante el cual se crean nuevas cadenas con mejores valores de aptitud para las nuevas generaciones. Por último, se presenta el operador de mutación, que cambia el dígito binario (valor del alelo) de 1 a 0 y viceversa. Se aplica a las nuevas cadenas del operador de cruce con una pequeña probabilidad de mutación específica. El propósito del operador es: generar una cadena en la vecindad de la cadena actual, logrando una búsqueda local alrededor de la solución actual; evitar la pérdida prematura de material genético importante de una posición concreta; y mantener la diversidad de la población.

En la resolución de problemas, GA realiza procesos característicos como: la codificación de la función objetivo a una matriz de bits o cadena de caracteres para presentar los cromosomas, manipulación de las cadenas de caracteres a través de operadores genéticos, y la selección de una solución para el problema de optimización. Estos procesos se pueden describir de forma esquemática como se muestra en el pseudocódigo de la Ilustración 19-2 (Yang 2018, p. 284).

```

Función objetivo  $f(x)$ ,  $x = (x_1, \dots, x_D)^T$ 
Codificar la solución en cromosomas (cadenas binarias )
Definir la aptitud F
Generar la población inicial
Iniciar las probabilidades de cruce ( $p_c$ ) y mutación ( $P_m$ )
while ( $t < \text{Número máximo de generaciones}$  )
    Generar una nueva solución mediante cruce y mutación
    if  $p_c > rand$ , cruzar; end if
    if  $p_m > rand$ , mutar; end if
    Aceptar las nuevas soluciones si su aptitud incrementa
    Seleccionar la mejor solución actual para la nueva generación (elitismo)
end while
Decodificar los resultados y visualizarlos
    
```

Ilustración 19-2: Pseudocódigo del GA

Realizado por: (Tacuri, 2022)

En base a (Yang 2018, p. 283), el GA puede ser usado en problemas de optimización complejos, además de presentar la ventaja del paralelismo. Los AGs, son aplicados en problemas con función objetivo estacionaria o no, lineal o no, continua o discontinua, e incluso con ruido aleatorio. La característica que hace ideal la paralelización (manipulación de parámetros o grupos de cadenas al mismo tiempo) del algoritmo se origina en la población definida en el problema, dado que, ésta puede explorar el espacio de búsqueda en varias direcciones. Estas características y ventajas también se presentan en los algoritmos basados en SI como, PSO y el “algoritmo firefly” (FA, por sus siglas en inglés: *Firefly Algorithms*).

2.4.3.2 Optimización por enjambre de partículas

De acuerdo con (Koziel y Yang 2011, p. 21; Brownlee 2011, p. 323; Arora 2015, p. 157), PSO es una técnica de búsqueda aleatoria inspirada en los principios de iteración social, es decir, en el comportamiento de los enjambres o grupos de individuos como: las aves en la naturaleza o banco de peces que se mueven juntos. PSO se relaciona con la iteración social de forma que, las partículas del cúmulo recorren su entorno siguiendo a los miembros más rápidos del enjambre, de esta forma se orientan y desplazan hacia las mejores zonas de su entorno.

En base a (Du y Swamy 2016, p. 154), en un problema de optimización de n variables, se define un enjambre de partículas NP, a cada partícula se le asigna una posición aleatoria en el espacio n -dimensional. Cada partícula posee su propia posición x_i y velocidad v_i (trayectoria), y se mueve en el espacio de búsqueda actualizando su trayectoria. Las partículas de una población modifican sus trayectorias basándose en las mejores posiciones visitadas por la misma partícula o partículas vecinas. Cada partícula tiene su valor de aptitud que es evaluado por la función aptitud, éstas son enviadas a través del espacio de solución para así seguir a las partículas óptimas actuales. Cumpliendo así una iteración. Las partículas óptimas actuales son los dos mejores valores, es decir, mejor partícula p_{best} , denotada x_i^* , $i = 1, \dots, N_p$, es la mejor partícula alcanzada hasta el momento; y el mejor global g_{best} , denotado por x^g , que es el mejor valor de la población obtenido hasta ese momento. El mejor valor de la población en una iteración es un valor local, denotado por $lbest$. En la iteración $t + 1$, el enjambre se actualiza mediante:

$$v_i(t + 1) = v_i(t) + cr_1[x_i^* - x_i(t)] + cr_2[x^g(t) - x_i(t)]$$

$$x_i(t + 1) = x_i(t) + v_i(t + 1), \quad i = 1, \dots, N_p$$

Donde, la aceleración constata $c > 0$, y r_1 y r_2 son números aleatorios uniformes dentro de $[0, 1]$. Este proceso detalla el algoritmo PSO básico y puede llevar a la explosión del enjambre y divergencia, debido a la falta de control de la magnitud de las velocidades, no obstante, esto se resuelve estableciendo un umbral v_{max} en el valor absoluto de la velocidad v_i .

En (Du y Swamy 2016, p. 154-155) se menciona que, PSO es popular dada su sencillez de implementación y su capacidad de convergencia rápida hacia una solución razonablemente aceptable, conforme a esto, PSO en relación con los EAs y ACO requiere operadores matemáticos básicos, menos contabilidad computacional, así también, menos líneas de código, por lo que es poco costoso en términos de memoria y velocidad. Con lo predicho, PSO puede localizar la región óptima más rápido que los EAs o el ACO, no obstante, cuando las partículas están en dicha región, su progreso es lento debido al tamaño de paso de su velocidad. Casi todas las variantes de PSO intentan resolver el problema del óptimo local o de estancamiento, es así como, el peso linealmente decreciente de PSO equilibra de manera eficiente las capacidades de búsqueda global y local del enjambre, esto es, con la introducción de un peso de inercia linealmente decreciente en la velocidad de la partícula del enjambre, teniendo:

$$v_i(t + 1) = \alpha v_i(t) + c_1 r_1 [x_i^*(t) - x_i(t)] + c_2 r_2 [x^g(t) - x_i(t)]$$

Dónde: α es el peso de inercia, c_1 y c_2 son constantes positivas que representan el parámetro conductivo y social, respectivamente. Generalmente, $c_1 = 2.0$ y $c_2 = 2.0$, y α decrementa desde α_{max} a α_{min} , teniendo:

$$\alpha(t) = \alpha_{max} - (\alpha_{max} - \alpha_{min}) \frac{1}{T}$$

Dónde: T es el máximo número de iteraciones. Se puede elegir a $\alpha_{max} = 1$, y $\alpha_{min} = 0.1$. El pseudocódigo del algoritmo PSO se describe en la Ilustración 20-2.

1. Establecer $t = 1$
Inicializar cada partícula de la población seleccionando aleatoriamente los valores de su posición x_i y su velocidad $v_i, i = 1, \dots, N_p$.
2. **Repetir:**
 - a. Calcular el valor aptitud de cada partícula i
Si el valor aptitud de cada partícula i es mayor que su mejor valor aptitud encontrado hasta el momento, entonces revisar $x_i^*(t)$
 - b. Determinar la ubicación de la partícula con mayor aptitud y revisar $x^g(t)$ si es necesario
 - c. **for each** partícula i , calcular la velocidad
 - d. Actualizar la ubicación de cada partícula i
 - e. Establecer $t = t + 1$

Hasta que se cumplan los criterios de parada

Ilustración 20-2: Pseudocódigo del algoritmo PSO

Realizado por: (Tacuri, 2022)

Las partículas del cúmulo interactúan entre sí actualizando sus velocidades, en relación a su mejor marca individual y la mejor marca global, con el objetivo de encontrar la mejor solución entre todas las mejores soluciones actuales. Frecuentemente en el algoritmo PSO usa como criterio de parada el completar un determinado número de iteraciones o hasta que la función objetivo alcance un valor determinado mejore (Chong y Zak 2013, p. 275; Yang 2018, p. 299).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Definición de demanda energética

La demanda energética de 800 kWh/mes, se define a través del estudio y aproximación del consumo energético a una vivienda ubicada en la ciudad de Santo Domingo, teniendo como resultado un perfil de demanda semanal con lapsos de 1 hora. La vivienda es un consumidor de tipo residencial, que hace uso de cargas AC. Para trazar el perfil de demanda energética se toman muestras directas a los medidores de cada vivienda, como se muestra en la Ilustración 1-3.



Ilustración 1-3: Toma de muestra medidor de vivienda de 3 habitantes

Realizado por: (Tacuri, 2022)

Tomadas las muestras en la semana de la vivienda habitada por tres personas, se muestra en la Tabla 1-3, el consumo eléctrico semanal por hora. Del perfil de demanda obtenido se registra el consumo semanal, obteniendo como resultado un consumo de 58.5kW, y un consumo promedio de 0.35kW.

Posteriormente, se realiza la proyección mensual para este consumidor en base a los datos obtenidos en la Tabla 1-3, teniendo como resultado un consumo mensual de 253.18 kW y un consumo promedio de 0.35 kW. Teniendo el consumo mensual se proyecta este valor asumiendo que se tiene 3 viviendas con este consumo energético, dando como resultado un consumo mensual para tres viviendas de 759.54 kWh, y un consumo promedio de 1.05 kWh.

Tabla 1-3: Consumo eléctrico semanal vivienda de 3 habitantes

HORA	DÍA #1	DÍA #2	DÍA #3	DÍA #4	DÍA #5	DÍA #6	DÍA #7
0	0,21	0,35	0,37	0,33	0,22	0,38	0,4
1	0,42	0,22	0,38	0,03	0,27	0,38	0,51
2	0,14	0,36	0,18	1,03	0,08	0,13	0,23
3	0,83	0,29	0,09	0,15	0,06	0,09	0,6
4	0,19	0,32	0,33	0,12	0,62	0,14	0,22
5	0,77	0,22	0,35	0,32	0,13	0,22	0,19
6	0,89	0,49	0,08	0,68	0,22	0,31	0,33
7	0,27	0,11	0,37	0,24	0,13	0,34	0,38
8	0,14	0,42	0,04	0,11	0,06	0,44	0,2
9	0,37	0,34	0,52	0,04	0,19	0,33	0,13
10	0,5	0,16	0,42	0,03	0,38	0,47	0,49
11	0,38	0,37	0,31	0,22	0,24	0,42	0,81
12	0,38	0,33	0,28	0,26	0,28	0,26	0,41
13	0,33	0,25	0,21	0,17	0,36	0,38	0,38
14	0,31	0,27	0,3	0,28	0,43	0,74	0,48
15	0,29	0,51	0,55	0,17	0,54	0,22	0,21
16	0,36	0,25	0,22	0,24	0,48	0,14	0,26
17	0,39	0,25	0,33	0,48	0,13	0,31	0,31
18	1,08	0,37	0,33	0,31	0,08	0,37	0,28
19	0,49	0,44	0,01	0,5	0,57	0,21	0,5
20	0,01	0,48	0,58	0,58	0,42	0,54	0,46
21	1,32	1,07	0,02	0,55	0,75	0,6	0,41
22	0,27	0,4	0,46	0,34	0,56	0,54	0,35
23	0,32	0,25	0,46	0,23	0,23	0,42	0,37

Realizado por: (Tacuri, 2022)

3.2 Localidades en el Ecuador

Definida la demanda energética para la microrred, se seleccionan dos localidades en el Ecuador, donde, los recursos energéticos renovables sean favorables y capaces de generar energía. Tal es el caso del sector el Arenal, en el cual se han realizado estudios para la instalación del Parque Eólico El Arenal, con una potencia de 50MW. Este sector está ubicado en las faldas del Chimborazo, sus coordenadas son Latitud -1.4317, y Longitud -78.9388, y su ubicación en el mapa geográfico se muestra en la Ilustración 2-3.



Ilustración 2-3: Ubicación de El Arenal en mapa geográfico

Fuente: («Google Maps» [sin fecha])

Otra localidad en el Ecuador con recursos renovables favorables es El Aromo, sector en el que se prevé la construcción y operación de la central fotovoltaica El Aromo. La central fotovoltaica se pretende levantar sobre los terrenos de la Refinería del Pacífico. Las coordenadas de este lugar son Latitud -1.0636, y Longitud -80.7807, y su ubicación en el mapa geográfico se muestra en la Ilustración 3-3.



Ilustración 3-3: Ubicación de El Aromo en mapa geográfico

Fuente: («Google Maps» [sin fecha])

3.3 Recurso renovable eólico y solar

Para obtener los perfiles de irradiancia y velocidad del viento de El Aromo y de El Arenal, se accedió a («POWER | Data Access Viewer» [sin fecha]), base de datos de NASA, de la que se puede descargar los recursos energéticos mundiales. Para descargar la información de El Aromo o El Arenal se debe ingresar las coordenadas geográficas y seleccionar la información de interés para el lapso deseado. Para el Aromo las coordenadas ingresadas fueron: Latitud -1.0636, y Longitud -80.7807; y para El Arenal, las coordenadas ingresadas fueron: Latitud -1.4317, y Longitud -78.9388.

Tabla 2-3: Irradiación global horizontal El Aromo

YEAR	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021
MO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
DY	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
HR	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
GHI	0	0	0	0	0	0	18,88	78,22	130,5	274,9	332,5	314,9
YEAR	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021
MO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
DY	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
HR	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
GHI	351,4	405,6	336,9	253,4	137,7	54,22	9,02	0	0	0	0	0

Realizado por: (Tacuri, 2022)

Los recursos energéticos de El Aromo y El Arenal se descargaron para el año 2021 en lapsos de 1 hora, seleccionando los parámetros: All Sky Surface Shortwave Downward Irradiance y Wind Speed at 10 Meters, que corresponden a la irradiancia solar total o “irradiación global horizontal” (GHI, por sus siglas en inglés: *Global Horizontal Irradiance*) y la velocidad del viento a 10M, respectivamente. Una muestra de estos valores se indica en la Tabla 2-3 y la Tabla 3-3. La GHI por un lapso de 24 horas para el sector El Aromo se muestra en la Tabla 2-3, y la velocidad del viento a 10 M por un lapso de 24 horas para el sector de El Arenal se muestra en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Velocidad del viento 10M El Arenal

YEAR	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021
MO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
DY	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
HR	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
WS10M	0,42	0,53	0,71	0,93	1,18	1,56	2,19	3,62	4,93	4,91	4,51	4,16
YEAR	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021
MO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
DY	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
HR	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
WS10M	3,92	3,82	3,74	3,67	3,37	2,82	1,87	1,38	0,99	0,81	0,92	1,32

Realizado por: (Tacuri, 2022)

3.4 Diseño de la microrred

La MR a diseñar incluye dos tipos de generación de energía renovable y un banco de baterías. La energía renovable seleccionada es la fotovoltaica y eólica, para lo cual se seleccionan: dos paneles solares con diferencia potencia para el módulo de generación fotovoltaica, de igual forma, para el módulo de generación eólica se eligen dos turbinas con diferente potencia, y para el módulo de almacenamiento de la MR se selecciona una batería de solar de gel. Las características técnicas de estos componentes se describen en los siguientes epígrafes.

3.4.1 Paneles fotovoltaicos

3.4.1.1 RESUN RS7E-M

El panel fotovoltaico de RESUN de la Ilustración 4-3, tiene alta eficiencia y rentabilidad, además, es un panel certificado para resistir condiciones de alta niebla salina y amoníaco. Se encuentra en el mercado por una costo de \$160 («Panel Solar 230Wp /12VDC Monocristalino RESUN» 2020).



Ilustración 4-3: Panel solar 230Wp/12VDC Monocristalino RESUN

Fuente: («Panel Solar 230Wp /12VDC Monocristalino RESUN» 2020)

En la Tabla 4-3, se describe las características técnicas bajo condiciones de prueba estándar que corresponde a: irradiancia 1000 W/m^2 , temperatura de célula 25°C , y masa de aire $AM1,5$

Tabla 4-3: Características eléctricas panel RESUN 230w/12VC

INFORMACIÓN ELÉCTRICA (STC)	
Potencia promedio en Watts [Wp]	230
Voltaje de circuito abierto [V]	24,10
Corriente de corto circuito [A]	11,99
Voltaje de potencia máxima [V]	20,19
Corriente de máxima potencia [A]	11,39
Coefficiente de temperatura [%/°C]	-0,39
Eficiencia del módulo [%]	21,06

Realizado por: (Tacuri, 2022)

3.4.1.2 EOS MONO by Eco Green Energy

El panel EOS MONO 400W de la Ilustración 5-3, es mono cristalino, está fabricado con células de grado A para una mayor generación de energía, con una vida útil de más de 25 años. Por su caja de conexión central está apto para conexiones en serie como en paralelo. Su precio en el mercado alcanza los \$400 («Panel Solar 400Wp /24VDC Monocristalino» 2020).

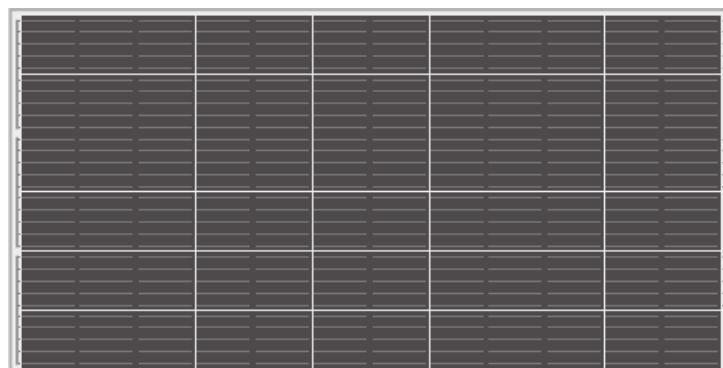


Ilustración 5-3: Módulo fotovoltaico EOS MONO 400W-72C

Fuente: («Panel Solar 400Wp /24VDC Monocristalino» 2020)

En la Tabla 5-3, se muestra la información eléctrica del panel solar en STC que corresponde a irradiancia 1000 W/m^2 , temperatura de célula 25°C , y masa de aire $AM1,5$ («Panel Solar 400Wp /24VDC Monocristalino» 2020).

Tabla 5-3: Características eléctricas panel EOS MONO 400W

INFORMACIÓN ELÉCTRICA (STC)	
Potencia de salida P_{max} [W]	400
Coefficiente de temperatura [%/°C]	-0,396
Eficiencia del módulo [%]	20,16
Voltaje de potencia máxima [V]	39,92
Corriente de potencia máxima [A]	10,02
Voltaje de circuito abierto [V]	48,6
Corriente de corto circuito [A]	10,4

Realizado por: (Tacuri, 2022)

3.4.2 Turbinas eólicas

3.4.2.1 ZONHAN NE-600

El aerogenerador ZONHAN NE-600 de la Ilustración 6-3, posee una buena apariencia física, además, en su funcionamiento se presentan pocas vibraciones, bajo nivel de ruido. Se encuentra en el mercado por un precio de \$1064 («Aerogenerador 600W/24VDC» 2020).



Ilustración 6-3: Aerogenerador ZONHAN MODELO NE-600

Fuente: («Aerogenerador 600W/24VDC» 2020)

El aerogenerador tiene baja velocidad de arranque del viento, y un alto aprovechamiento de la energía eólica. La Tabla 6-3, muestra los datos técnicas del aerogenerador ZONHAN NE-600 («Aerogenerador 600W/24VDC» 2020).

Tabla 6-3: Datos técnicos aerogenerador ZONHAN NE-600

DATOS TÉCNICOS	
Modelo	NE - 600
Potencia nominal [W]	600
Velocidad del viento en el arranque [m/s]	2,1
Velocidad nominal del viento [m/s]	11
Velocidad del viento de supervivencia [45 m/s]	45
Tensión nominal [V]	24
Temperatura de trabajo [°C]	-40 – 80
Peso neto máximo [Kg]	18
Número de palas	3

Realizado por: (Tacuri, 2022)

3.4.2.2 EcoSolar Aero 24V - 1000W

El aerogenerador Ecosolar Aero 1000W 24V de la Ilustración 7-3, puede usarse en sistemas con fuentes de generación eólica y solar, así también, en sistemas donde la turbina de generación sea la única fuente de generación de energía renovable. Se encuentra en el mercado por un precio de 1408,00€ equivalentes a 1500\$ («Aerogenerador Ecosolar Aero 1000 24V - 1000W» [sin fecha]).



Ilustración 7-3: Aerogenerador EcoSolar MODELO Aero 1000w – 24V

Fuente: («Aerogenerador Ecosolar Aero 1000 24V - 1000W» [sin fecha])

El aerogenerador ofrece un rendimiento preciso, dado que, alcanza su potencia nominal con velocidades del viento de 8m/s. En la Tabla 7-3 se muestra sus datos técnicos («Aerogenerador Ecosolar Aero 1000 24V - 1000W» [sin fecha]).

Tabla 7-3: Datos técnicos Aerogenerador Ecosolar 1000w-24v

DATOS TÉCNICOS	
Modelo	Aero 1000
Potencia nominal [W]	1000
Velocidad del viento en el arranque [m/s]	2
Velocidad nominal del viento [m/s]	8
Velocidad del viento de supervivencia [m/s]	40
Tensión nominal [V]	24
Temperatura de trabajo [°C]	-40 - 80
Diámetro [m]	2,9
Número de palas	3

Realizado por: (Tacuri, 2022)

3.4.3 Baterías

3.4.3.1 CSBattery HTB12-100

La CSBattery HTB12-100 de la Ilustración 8-3, tiene una larga vida útil y proporciona un servicio óptimo y fiable en condiciones de alta temperatura (no necesita aire acondicionado) y con frecuentes corte de energía. Aplicada en sistema de energía solar y eólica y sistemas UPS («Batería Solar de GEL vida útil prolongada 100Ah/12VDC» 2020).



Ilustración 8-3: Batería CSBattery modelo HTB12-100

Fuente: («Bateria Solar de GEL vida útil prolongada 100Ah/12VDC» 2020)

La CSBattery HTB12-100 es apta para áreas calientes sin que su vida útil disminuya, ofreciendo mejor estabilidad. En la Tabla 8-3, se muestra las especificaciones técnicas de la batería, se encuentra en el mercado a un precio de \$280 («Bateria Solar de GEL vida útil prolongada 100Ah/12VDC» 2020).

Tabla 8-3: Especificaciones técnicas batería CSBattery HTB12-100

Voltaje nominal		12V (6 células por unidad)
Vida útil flotante del diseño		20 años
Capacidad nominal @25°C (2° horas @5,0A; 10,8V)		100Ah
Capacidad @25°C	10 horas (9,0A; 10,8V)	90Ah
	5 horas (15,9A; 10,5V)	79,5Ah
	1 hora (55,6A; 9,6V)	55,6Ah
Resistencia interna	Batería completamente cargada @25°C	≤ 5,3 mΩ
Temperatura ambiente	Descarga	-25°C ~ 60°C
	Carga	-25°C ~ 60°C
	Almacenamiento	-25°C ~ 60°C
Corriente de descarga máxima @25°C		540A (5s)
Capacidad afectada por temperatura (10 horas)	40°C	108%
	25°C	100%
	0°C	90%
	-15°C	70%
Auto descarga @25°C al mes		3%
Carga (Voltaje constante) @25°C	Uso en espera	Corriente de carga inicial inferior a 22,5A Tensión 13,6 – 13,8V
	Uso en ciclo	Corriente de carga inicial inferior a 22,5A Tensión 14,4 – 14,9V

Realizado por: (Tacuri, 2022)

3.4.4 Configuración de los escenarios de simulación

Con la presentación de los elementos en 3.4.1, 3.4.2, y 3.4.3, se distinguirán dos escenarios para la microrred, mismos que se detallan en la Tabla 9-3 y la Tabla 10-3.

Tabla 9-3: Elementos del Escenario #1

Escenario #1	Potencia [W]	Capacidad [Ah]	Costo [\$]
Panel solar RESUN RS7E-M	230	-	160
Aerogenerador ZONHAN NE-600	600	-	1064
CSBattery HTB12-100	-	100	280

Realizado por: (Tacuri, 2022)

Tabla 10-3: Elementos del Escenario #2

Escenario #2	Potencia [W]	Capacidad [Ah]	Costo [\$]
Panel solar EOS MONO	400	-	400
Aerogenerador Ecosolar Aero	1000	-	1500
CSBattery HTB12-100	-	100	280

Realizado por: (Tacuri, 2022)

El primer escenario está constituido por el panel solar y aerogenerador de menor potencia; el segundo escenario está compuesto por el panel solar y aerogenerador con mayor potencia. En ambos escenarios se la misma batería, que tiene una capacidad nominal de 100[Ah].

3.5 Generación renovable eólica y solar

La generación renovable se calcula a través del modelado matemático del sistema fotovoltaico, y modelado matemático del sistema eólico, presentados en 2.3.1 y 2.3.2, respectivamente. Ambos modelos requieren de los datos de los recursos energéticos renovables (GHI y Velocidad del viento), y en el caso del modelado fotovoltaico es preciso determinar la temperatura a la que estará expuesta el panel fotovoltaico (temperatura ambiente).

Para calcular la generación renovable eólica en cada instante de tiempo, en El Aromo y en El Arenal se usa el modelado matemático del sistema eólico, regido por la ecuación que se muestra a continuación,

$$P_{wind} = \begin{cases} 0 & V(t) \leq V_{ci} \vee V(t) \geq V_{co} \\ a * V(t)^3 - b * P_r & V_{ci} < V(t) < V_r \\ P_r & V_r \leq V(t) < V_{co} \end{cases} \quad a = \frac{P_r}{V_r^3 - V_{ci}^3}; \quad b = \frac{V_{ci}^3}{V_r^3 - V_{ci}^3}$$

En $V(t)$ se debe ingresar el dato de la generación renovable, de esta forma se calcula la generación eólica en un instante de tiempo, esto se debe hacer para cada dato de generación renovable eólica. Al final se tendrán 8760 datos que corresponderán a las 8760h de un año. Este procedimiento se realiza para el escenario #1 y escenario #2, de El Aromo y de El Arenal.

Para calcular la generación renovable solar, nos regimos en el modelado matemático del sistema fotovoltaico gobernado por la siguiente ecuación:

$$P_{pv}(t) = f_{pv} * P_{STC} * \frac{G}{G_{STC}} * [1 + \alpha_p * ((T_{cell} + 0.0256 * G) - T_{STC})]$$

En la variable G se ingresa los valores de la GHI de cada instante de tiempo. De igual forma que en el cálculo de la generación eólica, este análisis se realiza para cada escenario en cada localidad, es preciso mencionar que para el cálculo se debe definir la temperatura correspondiente para cada localidad, El Aromo y El Arenal.

3.6 Algoritmo PSO

Para la asignación óptima de recursos renovables en la microrred se usa algoritmos inteligentes, para este caso se seleccionó el algoritmo PSO, puesto que, este algoritmo es más seguro en encontrar el óptimo global, así también, presenta mejores tiempos en encontrar la solución óptima global, en comparación con al GA que es más propenso en caer en óptimo locales y sus tiempos de cálculo son elevados. En la Ilustración 9-3 se muestra el diagrama de flujo correspondiente para la asignación óptima de recursos renovables con el algoritmo PSO.

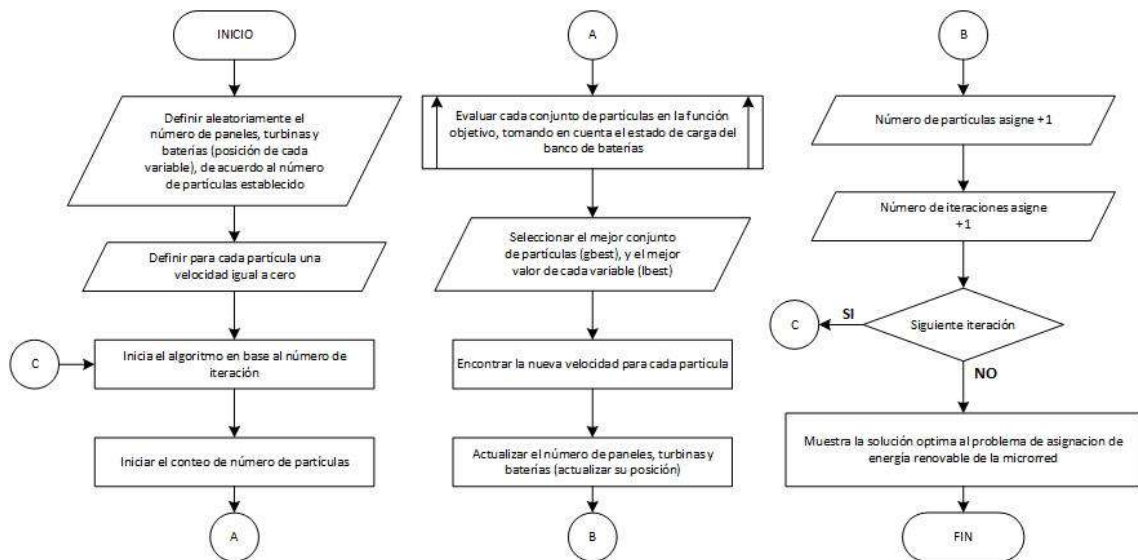


Ilustración 9-3: Diagrama de flujo algoritmo PSO

Realizado por: (Tacuri, 2022)

Para la asignación óptima de recursos renovables con el algoritmo PSO se debe definir el número de iteraciones, que son las veces en las que el algoritmo actualizará su partícula en busca de una mejor solución, así también, se define el número de partículas que tendrán cada variable de optimización. Para la primera iteración del algoritmo se deben asignar valores aleatorios a las partículas, y sus velocidades deben establecerse en cero. Posteriormente, cada partícula de cada iteración debe ser evaluada en base a generación renovable y el estado de la batería, con el fin de determinar la LPSH, y con esto calcular el valor de penalidad que será agregado a la función objetivo. Por tanto, la función objetivo estará definida por el costo capital y el valor de penalidad, la misma que se describe en la siguiente ecuación:

$$fo = \#panel * \$panel + \#turbina * \$turbina + \#bateria * \$bateria + LPSH * Fp$$

En donde, el valor de F_p se lo define por 50^{50} . Para el problema de optimización se elige el valor de partícula de menor valor, por ende, cuando una partícula de un valor alto no es elegido, puesto que, presenta un LPSH alto, lo que significa que existen muchas veces donde se registra interrupciones del suministro de energía. La mejor partícula de la iteración es elegida para asignar un nuevo valor a todas las partículas, esto a través de aplicar una velocidad. Esta velocidad y su nuevo valor de partícula (nueva posición en el espacio de búsqueda) se determinan con las siguientes ecuaciones:

$$v_i(t + 1) = \alpha v_i(t) + c_1 r_1 [x_i^*(t) - x_i(t)] + c_2 r_2 [x^g(t) - x_i(t)]$$

$$x_i(t + 1) = x_i(t) + v_i(t + 1), \quad i = 1, \dots, N_p$$

Todas las partículas en cada iteración evaluadas, de ellas la mejor sirve para dirigir la siguiente posición de todo el enjambre. Cuando se cumpla con el número de iteraciones previsto la última solución óptima global de la última iteración es definida como la solución óptima del problema de asignación óptima de recursos renovables y banco de baterías.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Consumo eléctrico promedio 800kWh al mes

Para obtener el perfil de consumo mensual de 800kWh, se tomó como base una vivienda de 3 habitantes, a la que se le realizó un estudio de consumo energético por una semana en lapsos de 1 hora, teniendo como resultado un total de 168 muestras para realizar la proyección enfocada a obtener un consumo promedio mensual de 800kWh.

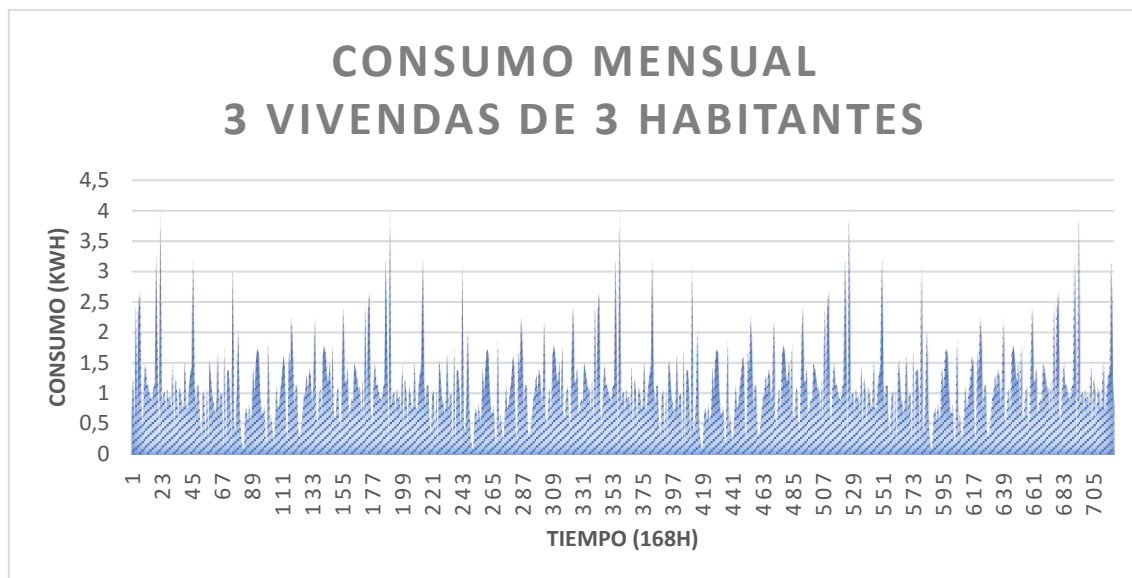


Ilustración 1-4: Consumo energético mensual 3 viviendas 3 habitantes

Realizado por: (Tacuri, 2022)

A través de este estudio se proyectó el perfil de consumo semanal de una vivienda de tres habitantes para obtener un perfil de consumo mensual, con el perfil mensual se registró un consumo de 253.18 kWh, a partir de esto se asume una microrred con la capacidad de abastecer a 3 viviendas con este consumo energético mensual, teniendo como resultado el perfil de consumo de la Ilustración 1-4, con un consumo promedio de 1,05kWh, y un consumo energético semanal de 759,54 kWh.

4.2 Generación renovable eólica y solar

4.2.1 *El Aromo*

A partir del cálculo por horas de la generación eólica y solar para cada escenario en la localidad El Aromo, se obtuvo el aporte energético por parte de cada escenario y cada recurso renovable.

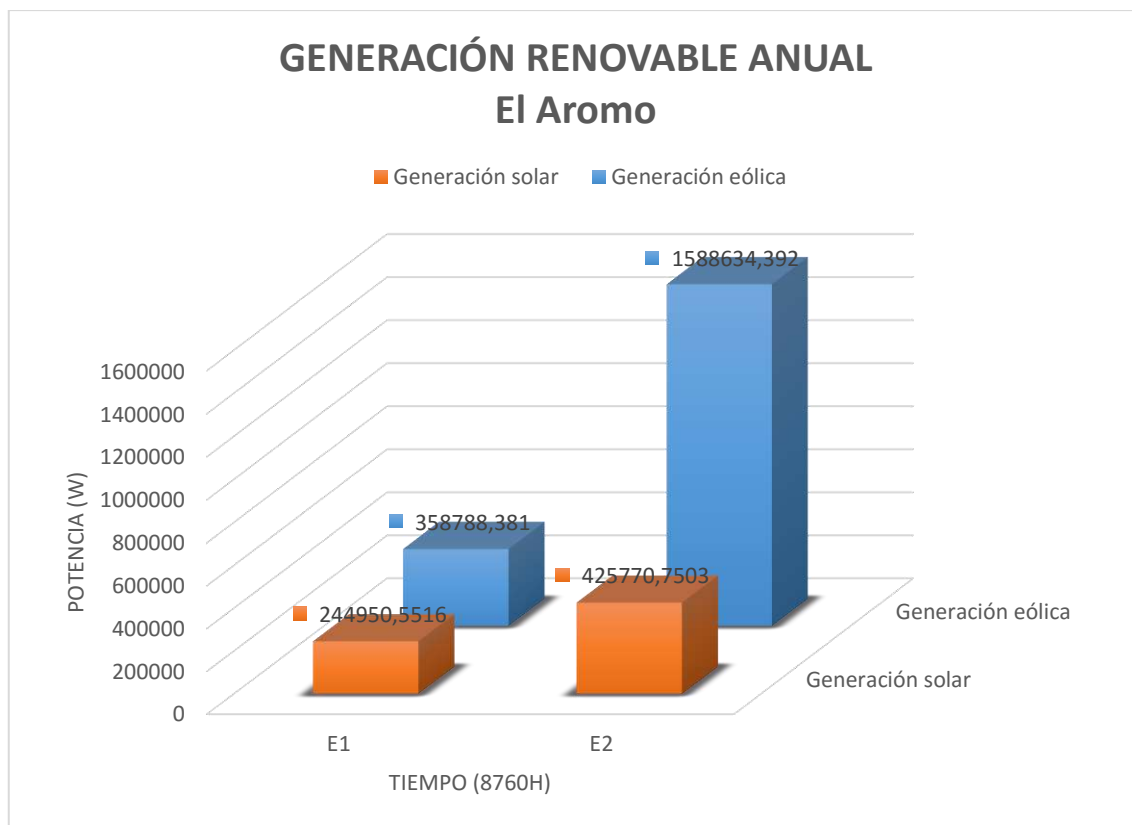


Ilustración 2-4: Generación renovable anual en El Aromo

Realizado por: (Tacuri, 2022)

La Ilustración 2-4 muestra que en el Escenario #1 (E1) tuvo una menor generación de potencia eólica y solar en comparación a la generación energética obtenida con el Escenario #2 (E2), puesto que, el Escenario #2 está compuesto por componentes de mayor potencia nominal, característica que le permite sacar mayor provecho a los recursos renovables de su localidad.

4.2.2 *El arenal*

La aportación energética total de cada recurso energético para el sector El Arenal, se obtuvo a través de cálculo de generación en cada hora, y con estos resultados obtener la aportación energética obtenida en este sector por cada escenario.

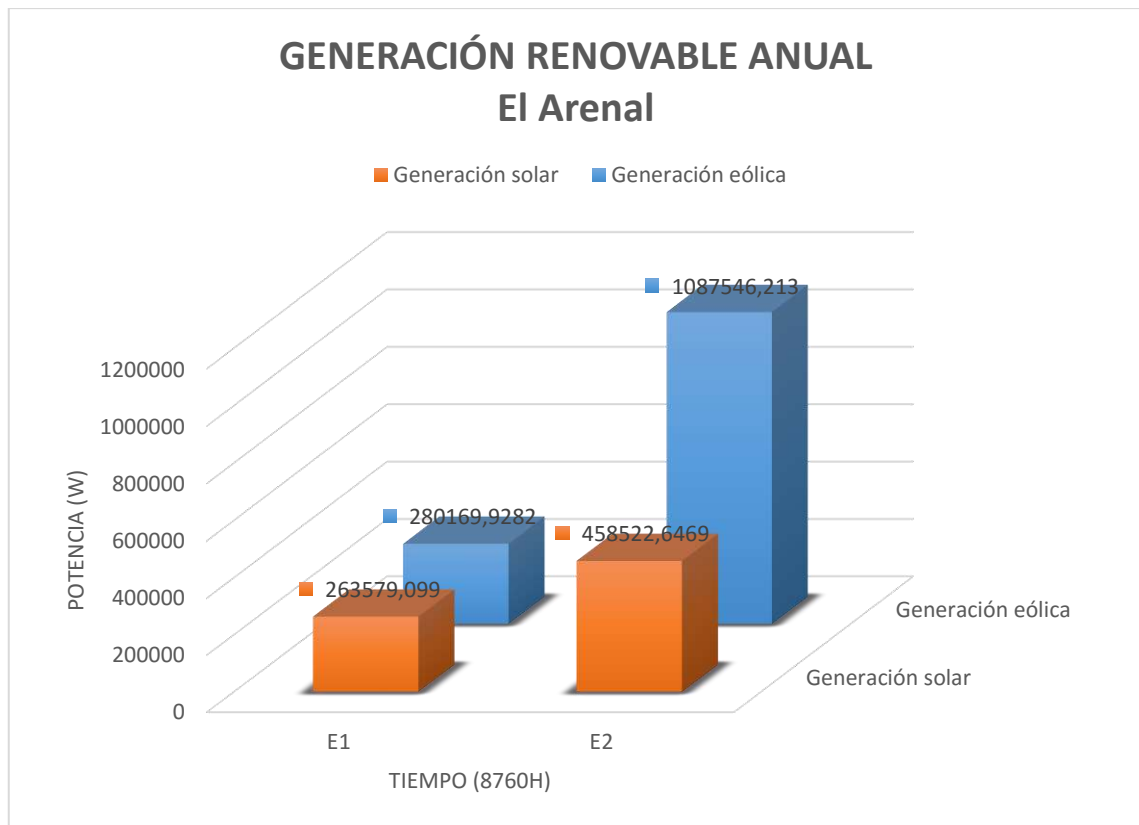


Ilustración 3-4: Generación renovable anual en El Arenal

Realizado por: (Tacuri, 2022)

En la Ilustración 3-4 se indica que con el Escenario #2 existe una mayor generación en comparación al Escenario #1, para este sector el Escenario #2 está constituido por componentes de mayor potencia nominal que el Escenario #1, por ende, el Escenario #2 aprovechó de mejor forma los recursos renovable, tanto eólico como solar. No obstante, se observó un contraste en comparación a las localidades en donde se calculó la generación renovable, puesto que, en el sector El Aromo existe una mayor generación de energía eólica por parte de cada escenario evaluado, así también, se observó una mayor aportación de generación solar por cada escenario en el sector del El Arenal.

4.3 Evaluación de banco de baterías

4.3.1 Comportamiento de solución menos óptima Escenario #1 – El Arenal

La solución menos óptima obtenida del Escenario #1 – El arenal, se da en la iteración 3 del algoritmo, y los valores de esta solución para el número de paneles, turbinas y baterías, se muestran en la Tabla 1-4.

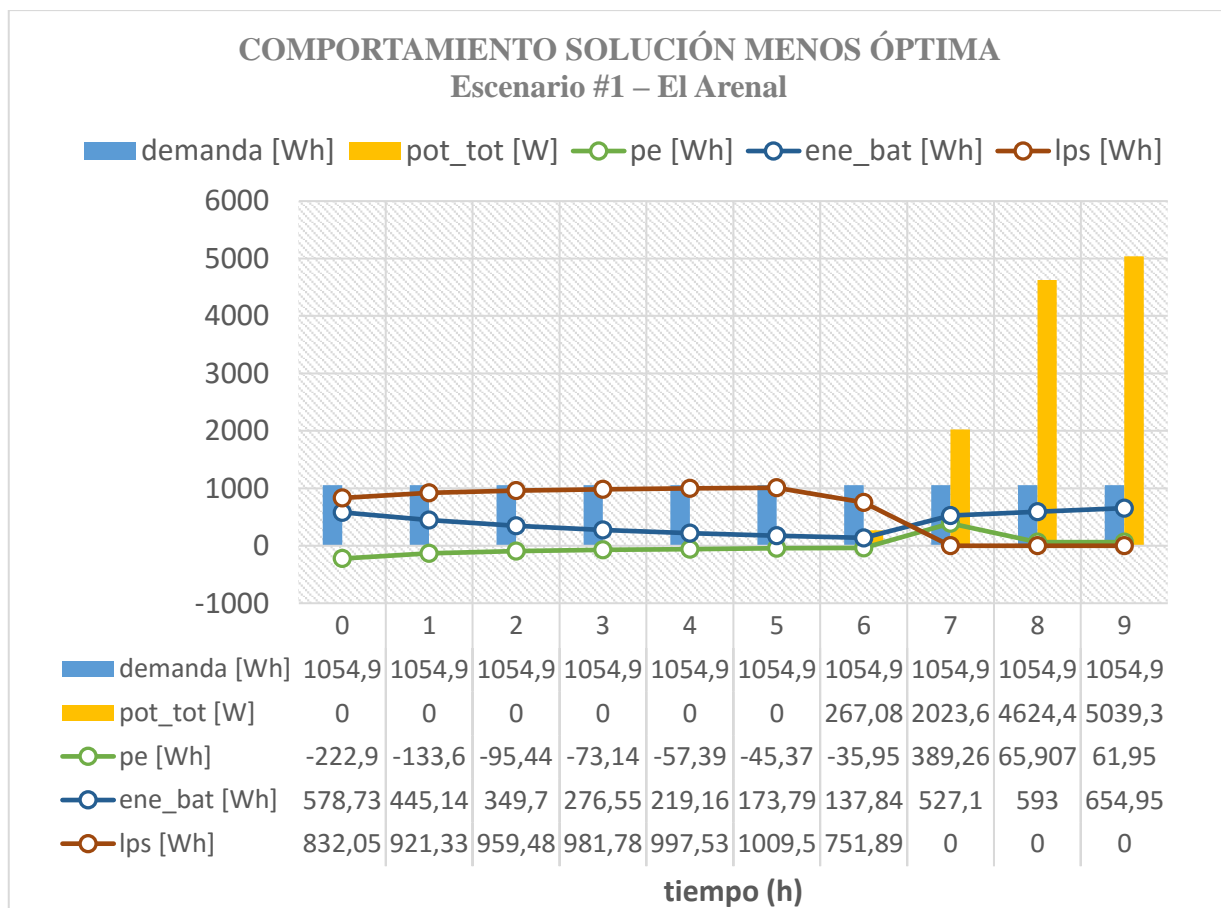


Ilustración 4-4: Análisis solución menos óptima establecida

Realizado por: (Tacuri, 2022)

Tabla 1-4: Solución menos óptima Escenario #1 – El Arenal

Paneles	74
Turbinas	0
Baterías	93
Costo (\$)	37880
LPS (Wh)	0

Realizado por: (Tacuri, 2022)

A partir de esta solución se realizó un análisis del comportamiento de la batería para verificar las pérdidas de suministro de energía obtenida en cada lapso de 1 hora. En la Ilustración 4-4 se muestra como en el primer los primeros lapsos de tiempo existen pérdida de suministro de energía, definida por “lps” en la gráfica, por ende, el costo de la función objetivo será elevado e implicará un costo de inversión alta, así también, la cantidad acumulada de energía no suministrada se elevará teniendo como resultado una solución costosa y en términos de confiabilidad será poco confiable debido a las altas cantidades de energía no suministrada.

4.3.2 Comportamiento de Escenario #1 solución óptima – El Arenal

La cantidad de paneles, turbinas y baterías de a solución óptima del Escenario #1 – El Arenal se muestra en la Tabla 2-4, con esta solución se logró observar el comportamiento del banco de baterías y como las pérdidas de suministro de energía eran nulas.

Tabla 2-4: Solución óptima Escenario #1 – El Arenal

Paneles	53
Turbinas	30
Baterías	64
Costo (\$)	58320
LPS (Wh)	502629,5

Realizado por: (Tacuri, 2022)

Con la solución de este escenario se simuló el comportamiento del banco de baterías y de las pérdidas del suministro de energía, teniendo como resultado el comportamiento descrito en la Ilustración 5-4. Las pérdidas de suministro de energía están definidas con la variable “lps” en la gráfica. El existir un número de baterías capaces de abastecer la demanda en los periodos en donde la generación (pot_tot) es nula o menor a la demanda, como se divisa en los primeros lapsos de hora de la Ilustración 5-4, la pérdida de suministro de energía es nula, definiendo a la función objetivo sólo con el costo de inversión. Puesto que, no existió un costo a agregar a la función objetivo por pérdidas de suministro de energía registradas en todos los periodos de estudio, el costo de inversión al final del análisis fue menor.

Por tanto, al tener un número de baterías que puedan suministrar la energía suficiente en los periodos donde la demanda supere la generación, se tendrán escenarios donde las pérdidas de suministro de energía sean nulas, como se distingue en la mejor solución obtenida en el sector El Arenal - Escenario #1.

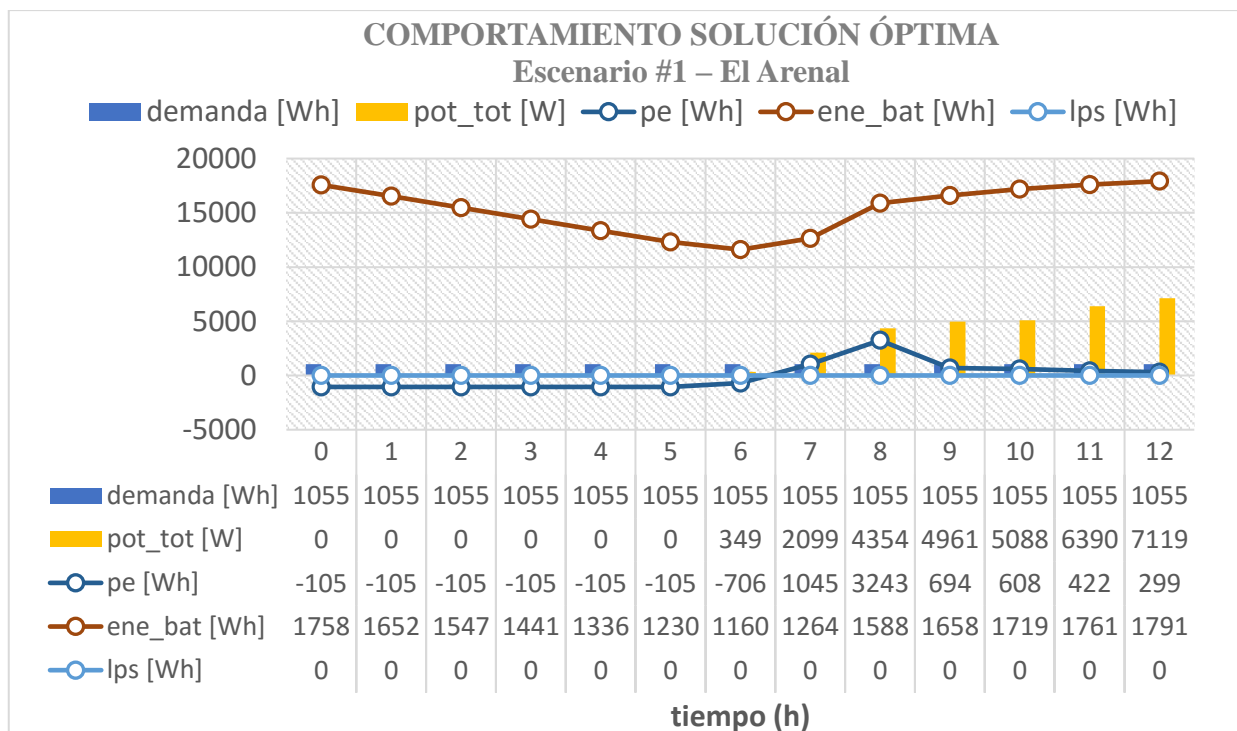


Ilustración 5-4: Análisis del BB para solución óptima establecida

Realizado por: (Tacuri, 2022)

4.4 Costo de generación renovable

Se establecieron dos escenarios para la asignación óptima de recursos renovables, por tanto, se analizó cual es el costo de generación por vatios de los componente de cada escenario. En la Tabla 3-4 se muestran los costos del Escenario #1, por tanto, el costo del panel de 230W es de \$160, equivalente a \$0,7, por otro lado, la turbina de 600W tiene un costo de \$1064, equivalente a \$1,77. En este escenario se distingue que el costo por vatio generado de menor costo es proveniente de paneles solares.

Tabla 3-4: Costo de componentes Escenario #1

Escenario #1	Potencia nominal [W]	Capacidad [Ah]	Costo [\$]
Panel	230	-	160
Turbina	600	-	1064
Batería	-	100	280

Realizado por: (Tacuri, 2022)

En la Tabla 4-4 se muestran los valores de los componentes de Escenario #2, de la cual se obtuvo que el costo por vatio generado por parte de los paneles solares es de \$1, por otra parte, el costo por vatio generado de las turbinas eólicas es de \$1,5. En este escenario se distingue que la tecnología que genera energía a menor costo son los paneles solares.

Tabla 4-4: Costo de componentes Escenario #2

Escenario #2	Potencia nominal [W]	Capacidad [Ah]	Costo [\$]
Panel	400	-	400
Turbina	1000	-	1500
Batería	-	100	280

Realizado por: (Tacuri, 2022)

Comparando ambos escenarios, se tiene que la generación de energía solar con menor costo está presente en el Escenario #1, no obstante, la generación de energía eólica con menor costo está presente en el Escenario #2. Sin embargo, en el Escenario #1 se tendrá el menor costo de generación, definido por el costo de generación de paneles, con un costo de \$0,7 USD.

4.5 Asignación óptima de GR y BB

4.5.1 El Aromo – Escenario #1

4.5.1.1 Solución 1 simulación

La asignación óptima de recursos para el Escenario #1 – El Aromo, se obtuvo a través de realizar 200 iteraciones y definir 50 partículas para el algoritmo PSO. En la Tabla 5-4 se observa como en el transcurso de las primeras iteraciones las mejores soluciones globales registraban pérdidas del suministro de energía, y en la iteración 3 se registra la elección de una solución con pérdidas de suministro de energía de 0Wh.

Tabla 5-4: Pérdidas de suministro de energía El Aromo – Escenario #1

Iteración	Paneles	Turbinas	Baterías	Inversión (k\$)	LPS (Wh)
0	41	39	49	61,776	214102,6646
1	53	42	82	76,128	1615,38983
2	60	29	95	67,056	0

Realizado por: (Tacuri, 2022)

La Ilustración 6-4, muestra un total de 87 iteraciones en las cuales el algoritmo seleccionó la mejor solución, del conjunto de posibles soluciones, en las primeras iteraciones las variables independientes se mueven en todo el espacio de búsqueda, hasta llegar a un punto en donde la solución óptima global no cambia, este efecto se observó a partir de la iteración 84, aproximadamente, y esta solución se definió como la solución al problema de asignación de recursos para el Escenario #1 – El Aromo.

Tabla 6-4: Solución óptima global El Aromo – Escenario #1 – 1 simulación

Paneles	75
Turbinas	3
Baterías	89
Costo (\$)	40112
LPS (Wh)	0

Realizado por: (Tacuri, 2022)

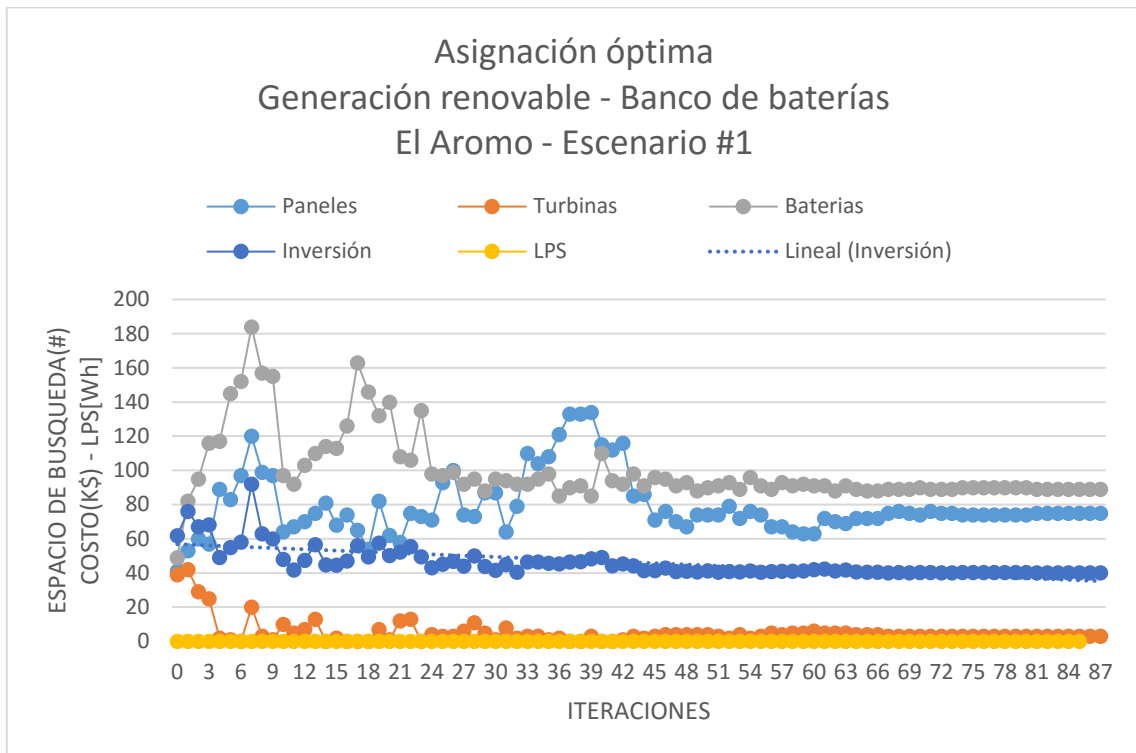


Ilustración 6-4: Asignación óptima de recursos El Aromo - Escenario #1

Realizado por: (Tacuri, 2022)

La Tabla 6-4 muestra los valores que toman las variables independientes y costo total de inversión junto con las pérdidas de suministro de energía registradas para esta solución. En esta solución se distingue el uso de paneles como turbinas, siendo el número de paneles mayor al número de turbinas, puesto que, el costo de generación por paneles es menor, por tanto, el algoritmo recurre a usar mayor proporción de generación solar, puesto que, es menos costosa. Además, en la gráfica se nota la línea de tendencia de inversión, se distingue su decremento, por tanto, el algoritmo implementado se acopla al problema de minimizar costos de inversión, encontrando soluciones que tengan pérdidas de suministro de energía nulas.

4.5.1.2 Solución 30 simulaciones

Se realizan 30 simulaciones para obtener la solución de asignación óptima de generación renovable y banco de baterías, teniendo como soluciones las que se registran en el ANEXO P.

Puesto que, el algoritmo inteligente PSO inicia de manera aleatoria su número de partículas, turbinas y baterías en la primera iteración, pueden existir diferencias en cada simulación, de ser el caso se deben depurar estas soluciones, dado que, pueden ser valores demasiado grandes o valores ilógicos para ser una solución óptima, el ANEXO Q indica las soluciones óptimas depuradas, a través de estos resultados se calculan los valores promedios para obtener una solución óptima al problema de optimización teniendo como resultados los valores que se muestran en la fila promedio con la desviación estándar para cada variable mostrada en la fila des stand del ANEXO Q. El costo final de este escenario se obtenido través de las 30 simulaciones se muestra en la Tabla 7-4.

Tabla 7-4: Solución óptima global El Aromo – Escenario #1 – 30 simulaciones

D.S	Solución óptima	Costos
3,52	Paneles	76 \$ 160
1,17	Turbinas	2 \$ 1.064
3,86	Baterías	91 \$ 280
0	LPS	0
	Inversión	\$ 39.768

Realizado por: (Tacuri, 2022)

4.5.2 El Aromo – Escenario #2

4.5.2.1 Solución 1 simulación

Las primeras iteraciones para obtener la solución óptima del Escenario #2 en El Aromo, registran soluciones con pérdidas de suministro de energía como se indica en la Tabla 8-4, a partir de la iteración 3 el algoritmo empieza a encontrar soluciones donde la pérdida de suministro de energía es nula.

Tabla 8-4: Pérdidas de suministro de energía El Aromo – Escenario #2

Iteración	Paneles	Turbinas	Baterías	Inversión (k\$)	LPS (Wh)
0	42	29	50	74,3	54730,70442
1	47	40	71	98,68	2478,85975
2	74	0	95	56,2	0

Realizado por: (Tacuri, 2022)

En la Ilustración 7-4, se muestra como las soluciones óptimas en cada iteración se mueven en todo el espacio de búsqueda con el fin de buscar la mejor solución del problema. Se observa que a partir de la iteración 84 la solución óptima global no varía, haciendo a está la solución al problema de asignación de recursos para el Aromo – Escenario #2. Además, en la gráfica se nota la línea de tendencia de inversión, se nota su decremento, por tanto, el algoritmo implementado se acopla al problema de minimizar costos de inversión, encontrando soluciones que tengan pérdidas de suministro de energía nulas.

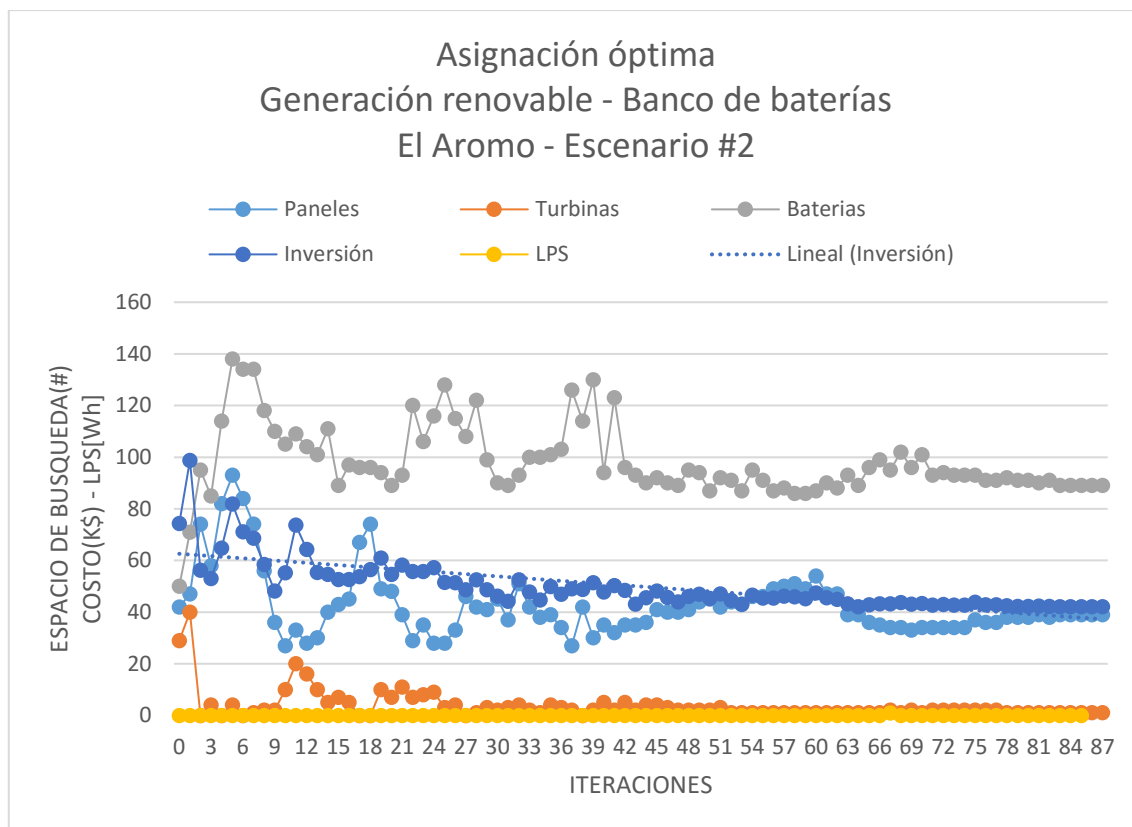


Ilustración 7-4: Asignación óptima de recursos El Aromo - Escenario #2

Realizado por: (Tacuri, 2022)

Tabla 9-4: Solución óptima global El Aromo – Escenario #2 – 1 simulación

Paneles	39
Turbinas	1
Baterías	89
Costo (\$)	42020
LPS (Wh)	0

Realizado por: (Tacuri, 2022)

La Tabla 9-4 muestra la cantidad de paneles, turbinas y baterías que son la solución al problema, así mismo se muestra la cantidad de pérdida de suministro de energía y el costo de inversión al implementar esta solución. En este caso se presencia mayor participación por parte de paneles solares, puesto que, su costo de generación es menor al costo de generación eólica. No obstante, al comparar para esta localidad ambos escenarios, se observó que el Escenario #1 presenta menor costo de implementación sin perder fiabilidad del sistema, puesto que, las pérdidas de suministro de energía para este escenario son nulas. El Escenario #2 presenta mayores valores de generación, puesto que, los costos de generación renovable son mayores que en el Escenario #1. Por tanto, la mejor solución en esta localidad está definida por la obtenida con el Escenario #1.

4.5.2.2 Solución 30 simulaciones

Se realizan 30 simulaciones para obtener la solución de asignación óptima de generación renovable y banco de baterías, teniendo como soluciones las que se registran en el ANEXO R. Puesto que, el algoritmo inteligente PSO inicia de manera aleatoria su número de partículas, turbinas y baterías en la primera iteración, pueden existir diferencias en cada simulación, de ser el caso se deben depurar estas soluciones, puesto que, pueden ser valores demasiado grandes o valores ilógicos para ser una solución óptima, el ANEXO S indica las soluciones óptimas depuradas, a través de estos resultados se calculan los valores promedios para obtener una solución óptima al problema de optimización teniendo como resultados los valores que se muestran en la fila promedio con la desviación estándar para cada variable mostrada en la fila desv stand del ANEXO S. El costo final de este escenario se obtenido través de las 30 simulaciones se muestra en la Tabla 10-4.

Tabla 10-4: Solución óptima global El Aromo – Escenario #1 – 30 simulaciones

D.S	Solución óptima		Costos
1,93	Paneles	38	\$ 400
0,26	Turbinas	1	\$ 1.500
3,85	Baterías	90	\$ 280
0	LPS	0	
	Inversión		\$ 41.900

Realizado por: (Tacuri, 2022)

4.5.3 El Arenal – Escenario #1

4.5.3.1 Solución 1 Simulación

La Tabla 11-4 muestra las primeras iteraciones obtenidas en la simulación para encontrar la solución óptima en esta localidad. En la iteración 1 se muestra que la existe una gran pérdida de suministro de energía, en la siguiente iteración se nota una mejora en la solución óptima global, puesto que, la pérdida de suministro de energía reduce, y a partir de la iteración 3 el algoritmo localizó una solución óptima global que presenta pérdida de suministro de energía nula.

Tabla 11-4: Pérdidas de suministro de energía El Arenal – Escenario #1

Iteración	Paneles	Turbinas	Baterías	Inversión (k\$)	LPS (Wh)
0	41	18	50	39,712	1295057,4959
1	53	30	64	58,32	502629,5105
2	88	8	101	50,872	0

Realizado por: (Tacuri, 2022)

En la Ilustración 8-4, se muestra las mejores soluciones globales tomadas por el algoritmo durante las primeras 87 iteraciones, a partir de esta iteración se observó que la solución óptima global no varía, por tanto, estos valores obtenidos fueron definidos como la solución al problema de asignación de recursos para El Arenal - Escenario #1. Además, en la gráfica se nota la línea de

tendencia de inversión, se nota su decremento, por tanto, el algoritmo implementado se acopla al problema de minimizar costos de inversión, encontrando soluciones que tengan pérdidas de suministro de energía nulas.

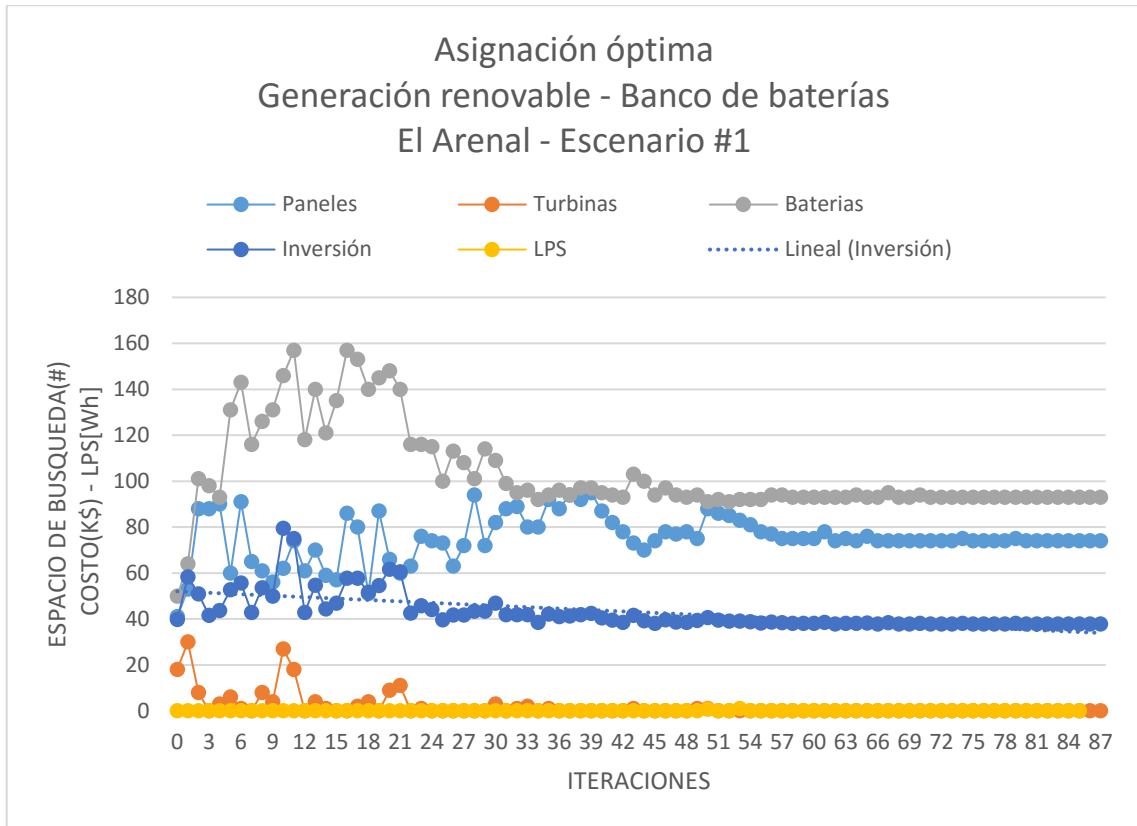


Ilustración 8-4: Asignación óptima de recursos El Arenal - Escenario #1

Realizado por: (Tacuri, 2022)

Tabla 12-4: Solución óptima El Arenal – Escenario #1 – 1 simulación

Paneles	74
Turbinas	0
Baterías	93
Costo (\$)	37880
LPS (Wh)	0

Realizado por: (Tacuri, 2022)

Por otra parte en la Tabla 12-4 se indican los valores óptimos para el número de paneles, baterías y turbinas, así también, se indica el valor de pérdidas de suministro de energía que para este caso son nulas, y el costo de inversión inicial. En este escenario se distinguió el uso de mayor generación fotovoltaica, puesto que, el costo de generación de energía fotovoltaica es menor que el costo de generación eólica.

4.5.3.2 Solución 30 simulaciones

Se realizan 30 simulaciones para obtener la solución de asignación óptima de generación renovable y banco de baterías, teniendo como soluciones las que se registran en el ANEXO T. Puesto que, el algoritmo inteligente PSO inicia de manera aleatoria su número de partículas, turbinas y baterías en la primera iteración, pueden existir diferencias en cada simulación, de ser el caso se deben depurar estas soluciones, dado que, pueden ser valores demasiado grandes o valores ilógicos para ser una solución óptima, el ANEXO U indica las soluciones óptimas depuradas, a través de estos resultados se calculan los valores promedios para obtener una solución óptima al problema de optimización teniendo como resultados los valores que se muestran en la fila promedio y la desviación estándar para cada variable se muestra en la fila desv stand del ANEXO U. El costo final de este escenario se obtenido través de las 30 simulaciones se muestra en la Tabla 13-4.

Tabla 13-4: Solución óptima global El Aromo – Escenario #1 – 30 simulaciones

D.S	Solución óptima	Costos
0	Paneles	74 \$ 160
0	Turbinas	0 \$ 1.064
0	Baterías	93 \$ 280
0	LPS	0
	Inversión	\$ 37.880

Realizado por: (Tacuri, 2022)

4.5.4 El Arenal – Escenario #2

4.5.4.1 Solución 1 simulación

La Tabla 14-4 indica que las primeras soluciones obtenidas por el algoritmo PSO presentan un alto valor de pérdida de suministro de energía, a partir de la tercera iteración el algoritmo PSO encuentra una solución que es confiable en términos de estabilidad eléctrica, puesto que, esta solución tiene pérdidas por suministro de energía nulas.

Tabla 14-4: Pérdidas de suministro de energía – El Arenal – Escenario #1

Iteración	Paneles	Turbinas	Baterías	Inversión (k\$)	LPS (Wh)
0	48	45	50	100,7	662358,7987
1	65	45	67	112,26	173476,3344
2	110	41	98	132,94	0

Realizado por: (Tacuri, 2022)

En la Ilustración 9-4, se muestran las primeras 87 iteraciones del algoritmo PSO, puesto que, a partir de esta iteración la solución óptima global permanece constante, por tanto, al no variar los valores, esta solución se definió como la solución al problema de asignación de recursos para el Arenal – Escenario #2. Además, en la gráfica la línea de tendencia de inversión, se nota su

decremento, por tanto, el algoritmo implementado se acopla al problema de minimizar costos de inversión, encontrando soluciones que tengan pérdidas de suministro de energía nulas.

Tabla 15-4: Solución óptima El Arenal – Escenario #2 – 1 simulación

Paneles	43
Turbinas	0
Baterías	93
Costo (\$)	43240
LPS (Wh)	0

Realizado por: (Tacuri, 2022)

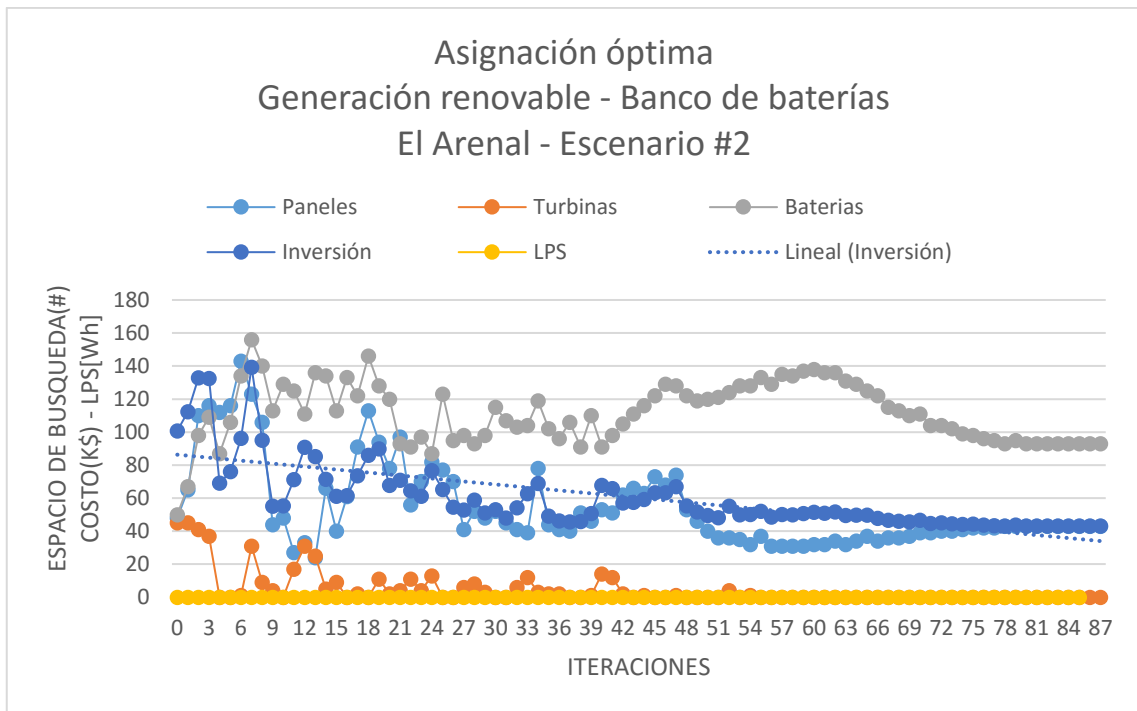


Ilustración 9-4: Asignación óptima de recursos El Arenal - Escenario #2

Realizado por: (Tacuri, 2022)

En la Tabla 15-4 se muestran los valores de paneles turbinas y baterías que forman parte de la solución, así también, se muestra las pérdidas de suministro de energía, y el costo de inversión del sistema. En este caso se distingue un mayor uso de paneles, puesto que, los costos de generación fotovoltaica son menores que los costos de generación eólica. No obstante, al comparar los escenarios evaluados en esta localidad, se tiene que para esta localidad el mejor escenario es el #1, puesto que, los costos de generación del Escenario #1 son menores en comparación al Escenario #2.

4.5.4.2 Solución 30 simulaciones

Se realizan 30 simulaciones para obtener la solución de asignación óptima de generación renovable y banco de baterías, teniendo como soluciones las que se registran en ANEXO V.

Puesto que, el algoritmo inteligente PSO inicia de manera aleatoria su número de partículas, turbinas y baterías en la primera iteración, pueden existir diferencias en cada simulación, de ser el caso se deben depurar estas soluciones, puesto que, pueden ser valores demasiado grandes o valores ilógicos para ser una solución óptima, Para este escenarios las simulaciones realizadas indican el mismo valor, por tanto, a partir de los datos del ANEXO V se calculan los valores promedios para obtener una solución óptima al problema de optimización, teniendo como resultados los valores que se muestran en la fila promedio y la desviación estándar para cada variable se muestra en la fila desv stand del ANEXO V. El costo final de este escenario se obtenido través de las 30 simulaciones se muestra en la Tabla 16-4.

Tabla 16-4: Solución óptima global El Aromo – Escenario #1 – 30 simulaciones

D.S	Solución óptima	Costos
0	Paneles	43 \$ 400
0	Turbinas	0 \$ 1.500
0	Baterías	93 \$ 280
0	LPS	0
	Inversión	\$ 43.240

Realizado por: (Tacuri, 2022)

4.6 Escenario óptimo de la MR

Las soluciones óptimas obtenidas al evaluar los escenarios #1 y #2 en cada localidad se presentan en la Tabla 17-4. Las soluciones para cada localidad obtenidas a través de la aplicación del algoritmo PSO nos dan una pérdida de suministro de energía (LPS) de 0Wh, teniendo escenarios confiables, puesto que, no existirá escasez de energía con la implementación de cualquier escenario.

En el sector de El Arenal se observó que no existe participación de la generación eólica en sus soluciones óptimas, puesto que, su generación solar en conjunto con el banco de baterías estimado para cada escenario es capaz de abastecer la demanda energética de 1,05kWh en las 8760h en las que se realizó el análisis. No obstante, al comparar el Escenario #1 con el Escenario #2 se observó que con el Escenario #1 se tiene un costo inversión menor, puesto que, el costo de generación solar con Escenario #1 es de 0,77\$/W, mientras que en el Escenario #2 el costo de generación solar es de \$1/W. Por tanto, será más costosa la generación solar del Escenario #2, lo que puede verse reflejado en su costo de inversión, teniendo en el Escenario #1 un costo de inversión de \$37.880, mientras que, en el Escenario #2 se tiene un costo de inversión de \$43.240, por tanto, si se debería instalar un escenario en este sector sería en Escenario #1 por el menor costo de inversión y sus pérdidas de suministro de energías de 0Wh.

Tabla 17-4: Soluciones óptimas de El Arenal - El Aromo

<i>El Arenal</i>			
Escenario #1		Escenario #2	
Paneles	74	Paneles	43
Turbinas	0	Turbinas	0
Baterías	93	Baterías	93
LPS (Wh)	0	LPS (Wh)	0
Costo (\$)	37.880	Costo (\$)	43.240

<i>El Aromo</i>			
Escenario #1		Escenario #2	
Paneles	76	Paneles	38
Turbinas	2	Turbinas	1
Baterías	91	Baterías	90
LPS (Wh)	0	LPS (Wh)	0
Costo (\$)	39.768	Costo (\$)	41.900

Realizado por: (Tacuri, 2022)

En el sector El Aromo y El Arenal se observó que con ninguno de los dos escenarios se presentan pérdidas de suministro de energía. A diferencia del sector El Arenal en este sector las soluciones óptimas presentadas para cada escenario hacen uso de generación eólica, esto es debido a que durante las 8760h en las que se realizó el cálculo de generación se presencié una escasa generación solar, mientras que la generación eólica era más notable, no obstante, en ambos escenarios la participación eólica es mínima, puesto que, la generación eólica es más costosa que la generación solar, teniendo en el Escenario #1 un costo de generación eólica equivalente a \$1,77\$/W, mientras que la generación solar es de 0,77\$/W, en el Escenario #2 el costo de generación eólica es de 1,5\$/W, mientras que la generación solar es de \$1/W, es por tanto que, ambos escenarios a pesar de la escasa generación solar se hace uso de la menor cantidad de generación eólica, puesto que, es más costosa que la generación solar. Se evidenció que el costo de energía solar del Escenario #1 es más económico que el Escenario #2, es por tanto que, el costo de inversión del Escenario #1 es el menor de ambos escenarios. De ser el caso que deba instalarse cualquier escenario en este sector el más apropiado sería el Escenario #1, dado que, su costo de inversión es menor al Escenario #2, además, este escenario no presenta pérdidas por suministro de energía siendo un sistema confiable para la implementación.

Para cada sector se seleccionó el escenario con mejores cualidades, teniendo para el sector El Arenal el Escenario #1 con un costo de inversión de \$37.880 y pérdidas de suministro de energía de 0 Wh; y el sector el Aromo tiene como mejor escenario para satisfacer la demanda el Escenario #1, con un costo de inversión de \$39.768 y pérdidas de suministro de energía de 0 Wh. No obstante, en el caso de seleccionar el mejor de los dos escenarios para satisfacer la demanda de 1,05 kWh, se tendría el Escenario #1 del sector El Arenal, puesto que, este escenario presenta menor costo de inversión, y no registra pérdidas por suministro de energía en todo el periodo de las 8760h de análisis. El mejor escenario queda determinado por el Escenario #1 de El Arenal con 74 paneles de 230W, 0 turbinas eólicas, 93 baterías, LPS de 0 Wh, y un costo de inversión de \$37.880.

CONCLUSIONES

- Se investigó el estado del arte de las microrredes enfocado a la integración, operación y asignación óptima de generación renovable no convencional y sistemas de almacenamiento de energía, considerando la estabilidad eléctrica y costo-beneficio.
- Se diseñó y modeló una microrred aislada, con generación eólica y solar debido a su complementariedad, un banco de baterías de plomo-gel, dado que, presentan una larga vida útil en climas tropicales y un consumo promedio mensual de 800kWh.
- Se implementó un algoritmo denominado *Particular Swarm Optimization* para realizar la optimización del dimensionamiento de la microrred diseñada en base a diferentes configuraciones de las capacidades de generación solar y eólica de dos diferentes localizaciones geográficas: El Aromo (Manabí) y El Arenal (Chimborazo).
- Del conjunto de 30 soluciones óptimas, se evaluó mediante análisis de estadística descriptiva el número medio óptimo de paneles, turbinas, y baterías, así también, las pérdidas de energía (LPS) para cada escenario de estudio.
- El sector del Aromo presentó una solución óptima con un costo de inversión de \$39.768 USD y está ligada a la implementación de 76 paneles, 2 turbinas y 91 baterías. Por otro lado, el sector del Arenal presenta una solución óptima con un costo de inversión de \$37.880 USD, que involucra 74 paneles, 0 turbinas y 93 baterías. Por tanto, la mejor solución general al problema de optimización es el sector El Arenal.

RECOMENDACIONES

- Dentro del análisis y cálculo de generación renovable eólica y solar se consideraron datos de estos recursos renovables en lapsos de 1 hora por un año, no obstante, se tendría una mayor precisión de resultados de generación en eólica y solar al considerar un mayor número de años para cada recurso renovable.
- En la selección de la cantidad de componentes para la solución de asignación óptima de recursos renovables y banco de baterías se tiene una libre participación de cada tecnología de generación, no obstante, se podría establecer un límite de participación de cada tecnología de generación renovable en la solución de asignación óptima de recursos renovables y banco de baterías.
- De acuerdo a la asignación óptima de generación renovable y banco de baterías, para la microrred diseñada y al número de usuarios que la microrred proveerá energía eléctrica, se recomienda, realizar un estudio financiero para determinar el tiempo en el cual se recuperará el capital invertido de cada usuario de la microrred.

BIBLIOGRAFÍA

Aerogenerador 600W/24VDC. *PROVIENTO STORE* [en línea], 2020. [Consulta: 6 noviembre 2022]. Disponible en: <https://proviento.com.ec/aerogeneradores/69-aerogenerador-600w24vdc.html>.

Aerogenerador Ecosolar Aero 1000 24V - 1000W. En: DAMIA SOLAR © 2022 All Rights Reserved [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 5 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.damiasolar.com/aerogeneradores/aerogenerador-ecosolar-aero-1000-24v-1000w.html>.

ANAM, F., SHAH, A. y ALÍ, A., 2018. Comparison of AC and DC Microgrid considering solar-wind hybrid renewable energy system. , vol. 2, pp. 33-38. ISSN 2520--7393.

ANZURES, C., 2018. Análisis y diseño de una microrred eléctrica. En: Accepted: 2019-07-12T15:16:34Z [en línea], [Consulta: 3 diciembre 2020]. Disponible en: <http://risisbi.uqroo.mx/handle/20.500.12249/1594>.

ARORA, R.K., 2015. *Optimization: Algorithms and Applications*. S.l.: CRC Press. ISBN 978-1-4987-2115-8.

Bateria Solar de GEL vida útil prolongada 100Ah/12VDC. *PROVIENTO STORE* [en línea], 2020. [Consulta: 6 noviembre 2022]. Disponible en: <https://proviento.com.ec/baterias-solares/199-bateria-solar-de-gel-vida-util-prolongada-100ah12vdc.html>.

BROWNLEE, J., 2011. *Clever Algorithms: Nature-inspired Programming Recipes*. S.l.: Jason Brownlee. ISBN 978-1-4467-8506-5.

CAPACHO VILLAMIZAR, I.N. y CÁRDENAS MANTILLA, J.R., 2020. Dimensionamiento de microrred para el suministro eléctrico de la Piscícola Campo Hermoso en el municipio de Playón. En: Accepted: 2021-02-03T13:41:30Z [en línea], [Consulta: 13 enero 2022]. Disponible en: <https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/12111>.

CHICA, A. y GUAMÁN, J., 2017. Modelo de estado estacionario de la microrred del laboratorio de Balzay de la Universidad de Cuenca. En: Accepted: 2017-11-28T13:28:41Z [en línea], [Consulta: 3 diciembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28606>.

CHONG, E.K.P. y ZAK, S.H., 2013. *An Introduction to Optimization*. S.l.: John Wiley & Sons. ISBN 978-1-118-27901-4.

COELLO, C., 2019. *Computación Evolutiva*. 2. S.l.: s.n. ISBN 978-607-97357-9-1.

DAWOUD, S., LIN, X. y OKBA, M.I., 2018. Hybrid renewable microgrid optimization techniques: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 2039-2052. ISSN 1364-0321. DOI 10.1016/j.rser.2017.08.007.

DHUNDHARA, S., VERMA, Y.P. y WILLIAMS, A., 2018. Techno-economic analysis of the lithium-ion and lead-acid battery in microgrid systems. *Energy Conversion and Management*, vol. 177, pp. 122-142. ISSN 0196-8904. DOI 10.1016/j.enconman.2018.09.030.

DU, K.-L. y SWAMY, M.N.S., 2016. *Search and Optimization by Metaheuristics: Techniques and Algorithms Inspired by Nature*. S.l.: Springer International Publishing. ISBN 978-3-319-41192-7.

GAVIRIA, F. y GÓMEZ, J., 2018. Metodología de optimización para microrredes eléctricas en zonas no interconectadas. En: Accepted: 2018-12-05T16:52:40Z, *instname:Universidad Autónoma de Occidente* [en línea], [Consulta: 2 diciembre 2020]. Disponible en: <http://red.uao.edu.co/handle/10614/10532>.

GONZÁLEZ, M. y ORTIZ, D., 2016. Simulación de la Microrred de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital FJDC. En: Accepted: 2016-12-16T17:25:15Z [en línea], [Consulta: 2 diciembre 2020]. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/4602>.

Google Maps. *Google Maps* [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 7 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.google.com.ec/maps/place/1%C2%B025'24.2%22S+78%C2%B057'01.1%22W/@-1.6339303,-78.9290723,27509a,35y,36.53t/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x0:0xa2524d3b6722df82!8m2!3d-1.4233889!4d-78.9503056!5m1!1e4?hl=es>.

GUAMÁN, C., 2017. Diseño de una microrred basada en renovables para suministrar electricidad a un área de concesión de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur. En: Accepted: 2017-06-28T14:35:28Z [en línea], [Consulta: 3 diciembre 2020]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/83964>.

Haidar, A.M.A., FAKHAR, A. y HELWIG, A., 2020. Sustainable energy planning for cost minimization of autonomous hybrid microgrid using combined multi-objective optimization

algorithm. *Sustainable Cities and Society*, vol. 62, pp. 102391. ISSN 2210-6707. DOI 10.1016/j.scs.2020.102391.

JONGERDEN, M. y HAVERKORT, B., 2017. Battery Aging, Battery Charging and the Kinetic Battery Model: A First Exploration. . S.l.: s.n., pp. 88-103. ISBN 978-3-319-66334-0. DOI 10.1007/978-3-319-66335-7_6.

KHARRICH, M., KAMEL, S., ALGHAMDI, A.S., EID, A., MOSAAD, M.I., AKHERRAZ, M. y ABDEL-AKHER, M., 2021. Optimal Design of an Isolated Hybrid Microgrid for Enhanced Deployment of Renewable Energy Sources in Saudi Arabia. *Sustainability*, vol. 13, no. 9, pp. 4708. DOI 10.3390/su13094708.

KHEZRI, R., MAHMOUDI, A., AKI, H. y MUYEEN, S.M., 2021. Optimal Planning of Remote Area Electricity Supply Systems: Comprehensive Review, Recent Developments and Future Scopes. *Energies*, vol. 14, no. 18, pp. 5900. ISSN 1996-1073. DOI 10.3390/en14185900.

KIEHBADROUDINEZHAD, M., MERABET, A. y HOSSEINZADEH-BANDBAFHA, H., 2021. Optimization of Wind Energy Battery Storage Microgrid by Division Algorithm Considering Cumulative Exergy Demand for Power-Water Cogeneration. *Energies*, vol. 14, no. 13, pp. 3777. DOI 10.3390/en14133777.

KOZIEL, S. y YANG, X.-S., 2011. *Computational Optimization, Methods and Algorithms*. S.l.: Springer. ISBN 978-3-642-20859-1.

La radiación solar. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 13 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.aros-solar.com/es/la-radiacion-solar>.

LEÓN, A. y LOJANO, A., 2017. Análisis del intercambio cooperativo de energía eléctrica adicionando restricciones en microrredes eléctricas. En: Accepted: 2017-11-15T17:25:28Z [en línea], [Consulta: 4 diciembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28490>.

MANWELL, J.F. y MCGOWAN, J.G., 1993. Lead acid battery storage model for hybrid energy systems. *Solar Energy*, vol. 50, no. 5, pp. 399-405. ISSN 0038-092X. DOI 10.1016/0038-092X(93)90060-2.

Mapas de recursos solares de Ecuador. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 17 diciembre 2022]. Disponible en: <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/ecuador>.

MARTÍNEZ DE HOZ, J. y BLANCO, M., 2018. Project Finance y Energías Renovables. , pp. 42.

MARTÍNEZ, M., 2020. Estudio de la aplicación de generación distribuida con fuentes renovables de energía en la comunidad de Molleturo. En: Accepted: 2020-06-08T19:39:23Z, pp. 162.

NEVES, M. da S., 2018. Desenvolvimento do modelo de uma máquina CC virtual aplicada a microrredes em corrente contínua. En: Accepted: 2020-03-29T01:40:04Z [en línea], [Consulta: 3 diciembre 2020]. Disponible en: <http://pantheon.ufrj.br/handle/11422/11640>.

OGUNJUYIGBE, A.S.O., AYODELE, T.R. y AKINOLA, O.A., 2016. Optimal allocation and sizing of PV/Wind/Split-diesel/Battery hybrid energy system for minimizing life cycle cost, carbon emission and dump energy of remote residential building. *Applied Energy*, vol. 171, pp. 153-171. ISSN 0306-2619. DOI 10.1016/j.apenergy.2016.03.051.

Panel Solar 230Wp /12VDC Monocristalino RESUN. *PROVIENTO STORE* [en línea], 2020. [Consulta: 7 noviembre 2022]. Disponible en: <https://proviento.com.ec/paneles-solares/3-panel-solar-230wp-12vdc-monocristalino-resun-.html>.

Panel Solar 400Wp /24VDC Monocristalino. *PROVIENTO STORE* [en línea], 2020. [Consulta: 6 noviembre 2022]. Disponible en: <https://proviento.com.ec/paneles-solares/223-panel-solar-400wp-24vdc-monocristalino.html>.

PENDOLEMA, C. y PANTALEÓN, K., 2018. Diseño de un sistema de gestión de carga de una micro-red utilizando simulación en tiempo real. En: Accepted: 2018-02-06T18:34:42Z [en línea], [Consulta: 2 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/42580>.

PEÑA, R., SANTOS, A. y TRUJILLO, C., 2020. Análisis para la selección de sistemas de almacenamiento basados en baterías para microrredes eléctricas. *Ingeniería* [en línea], vol. 25, no. 3. [Consulta: 4 diciembre 2020]. ISSN 2344-8393. DOI 10.14483/23448393.15613. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/reving/article/view/15613>.

PÉREZ, P., 2017. Descripción e infraestructura de una microrred para un entorno residencial. En: Accepted: 2017-07-03T14:26:01Z [en línea], [Consulta: 3 diciembre 2020]. Disponible en: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/24085>.

PONCE, J., TORRES, A., QUEZADA, F., SILVA, A., MARTÍNEZ, E., CASALI, A., SCHEIHING, E., TÚPAC, Y., TORRES, D., ORNELAS, F., HERNÁNDEZ, J., ZAVALA, C., VAKHNIA, N. y PEDREÑO, O., 2014. *Inteligencia Artificial*. S.l.: s.n.

POSSO, F., 2002. ENERGÍA Y AMBIENTE: PASADO, PRESENTE Y FUTURO. PARTE DOS: SISTEMA ENERGÉTICO BASADO EN ENERGÍAS ALTERNATIVAS. . p., vol. 7, pp. 54-73.

POWER | Data Access Viewer. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 7 febrero 2022]. Disponible en: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.

RAO, S.S., 2019. *Engineering Optimization: Theory and Practice*. S.l.: John Wiley & Sons. ISBN 978-1-119-45471-7.

RASHID, M.M.U., ALOTAIBI, M.A., CHOWDHURY, A.H., RAHMAN, M., ALAM, M.S., HOSSAIN, M.A. y ABIDO, M.A., 2021. Home Energy Management for Community Microgrids Using Optimal Power Sharing Algorithm. *Energies*, vol. 14, no. 4, pp. 1060. DOI 10.3390/en14041060.

ROMERO, J. y FLORES, J., 2019. Estudio e implementación de un sistema de micro generación solar fotovoltaico para autoconsumo (caso de estudio considerando la regulación Nro. ARCONEL- 003/18). En: Accepted: 2019-10-24T22:34:58Z [en línea], [Consulta: 4 diciembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/33564>.

SANDHU, K. y AEIDAPU, M., 2018. Optimal sizing of PV/wind/battery Hybrid Renewable Energy System Considering Demand Side Management. *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, vol. 10, pp. 79-93. DOI 10.15676/ijeei.2018.10.1.6.

SENGUPTA, R.N., GUPTA, A. y DUTTA, J., 2016. *Decision Sciences: Theory and Practice*. S.l.: CRC Press. ISBN 978-1-351-72740-2.

SIMON, D., 2013. *Evolutionary Optimization Algorithms*. S.l.: John Wiley & Sons. ISBN 978-1-118-65950-2.

TORO, M., 2015. Diseño de estrategias de control para operación desbalanceada de microrredes de baja tensión. En: Accepted: 2015-10-22T14:48:13Z [en línea], [Consulta: 3 diciembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/134595>.

VILLACIS, D. y LI, D., 2017. Diseño y simulación de las protecciones y operación de una microrred para ciudad Celeste La Marina. En: Accepted: 2017-02-08T19:57:18Z [en línea],

[Consulta: 15 diciembre 2021]. Disponible en:
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/37229>.

WANG, J. y YANG, F., 2013. Optimal capacity allocation of standalone wind/solar/battery hybrid power system based on improved particle swarm optimisation algorithm. *IET Renewable Power Generation*, vol. 7, no. 5, pp. 443-448. ISSN 1752-1424. DOI 10.1049/iet-rpg.2012.0329.

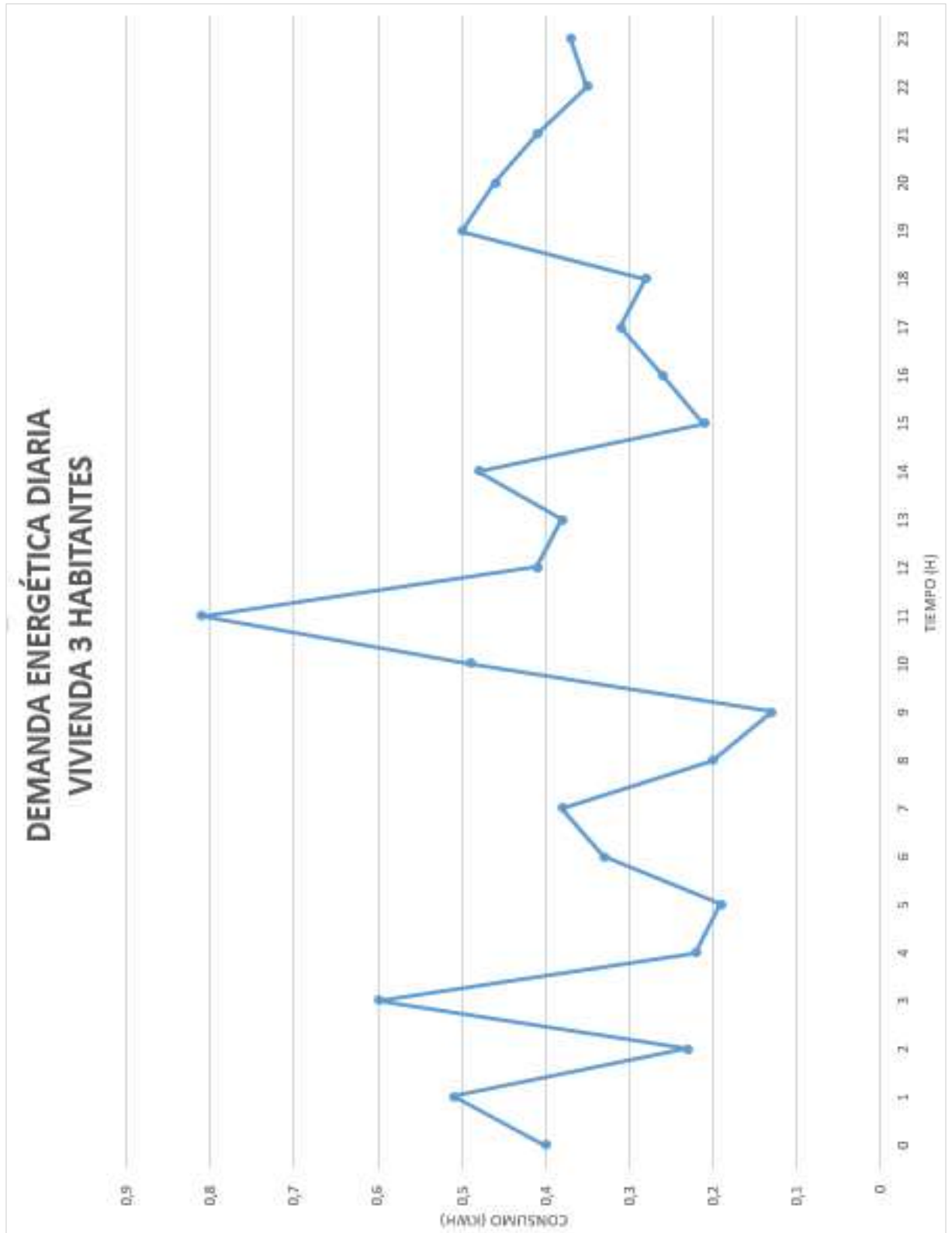
YANG, X.-S., 2018. *Optimization Techniques and Applications with Examples*. S.l.: John Wiley & Sons. ISBN 978-1-119-49054-8.

ZHANG, J. y GAN, Y., 2018. Optimization of multi-objective micro-grid based on improved particle swarm optimization algorithm. *AIP Conference Proceedings*, vol. 1955, no. 1, pp. 040009. ISSN 0094-243X. DOI 10.1063/1.5033673.

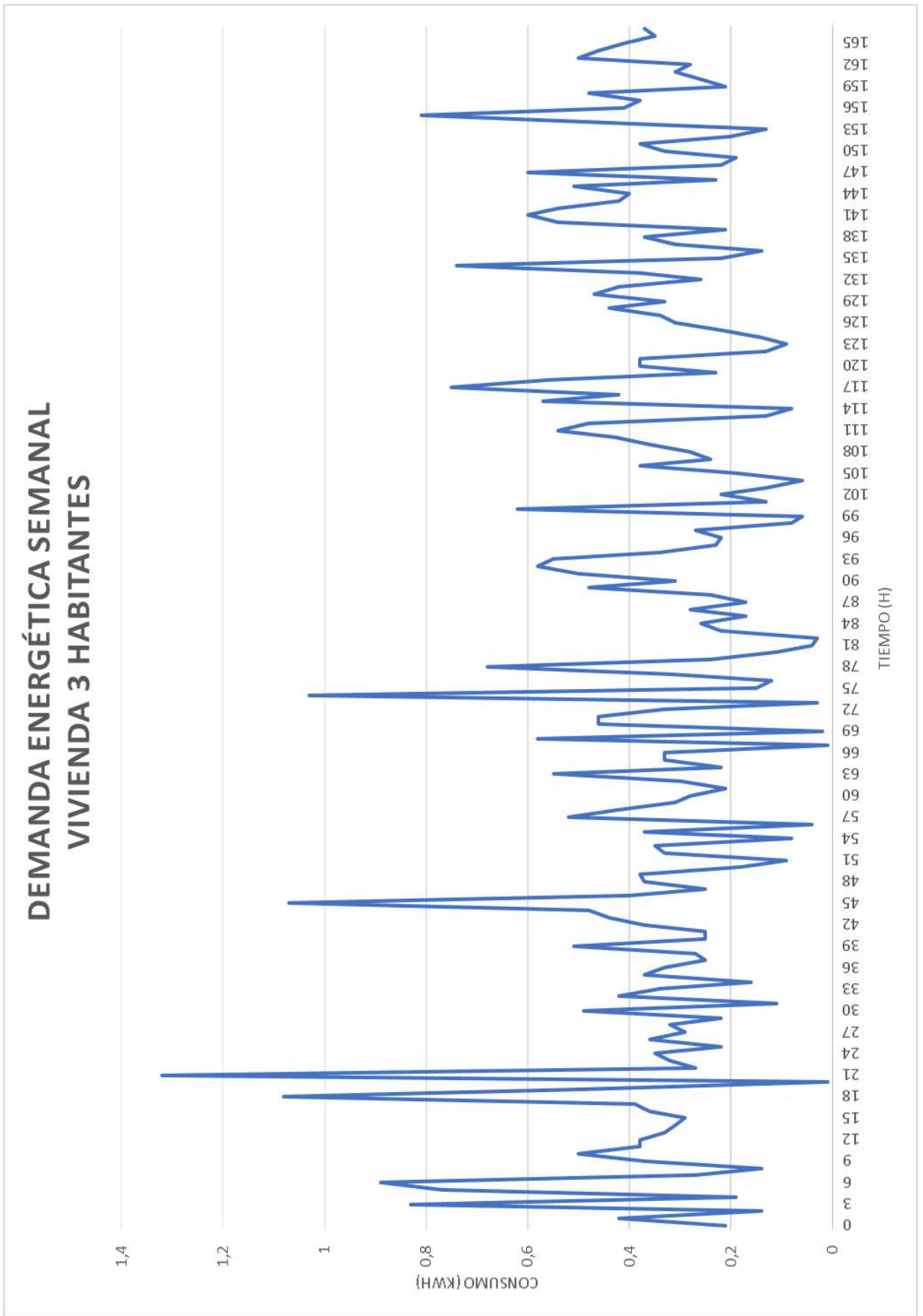
ZHU, W., GUO, J. y ZHAO, G., 2021. Multi-Objective Dispatching Optimization of an Island Microgrid Integrated with Desalination Units and Electric Vehicles. *Processes*, vol. 9, no. 5, pp. 798. DOI 10.3390/pr9050798.

ANEXOS

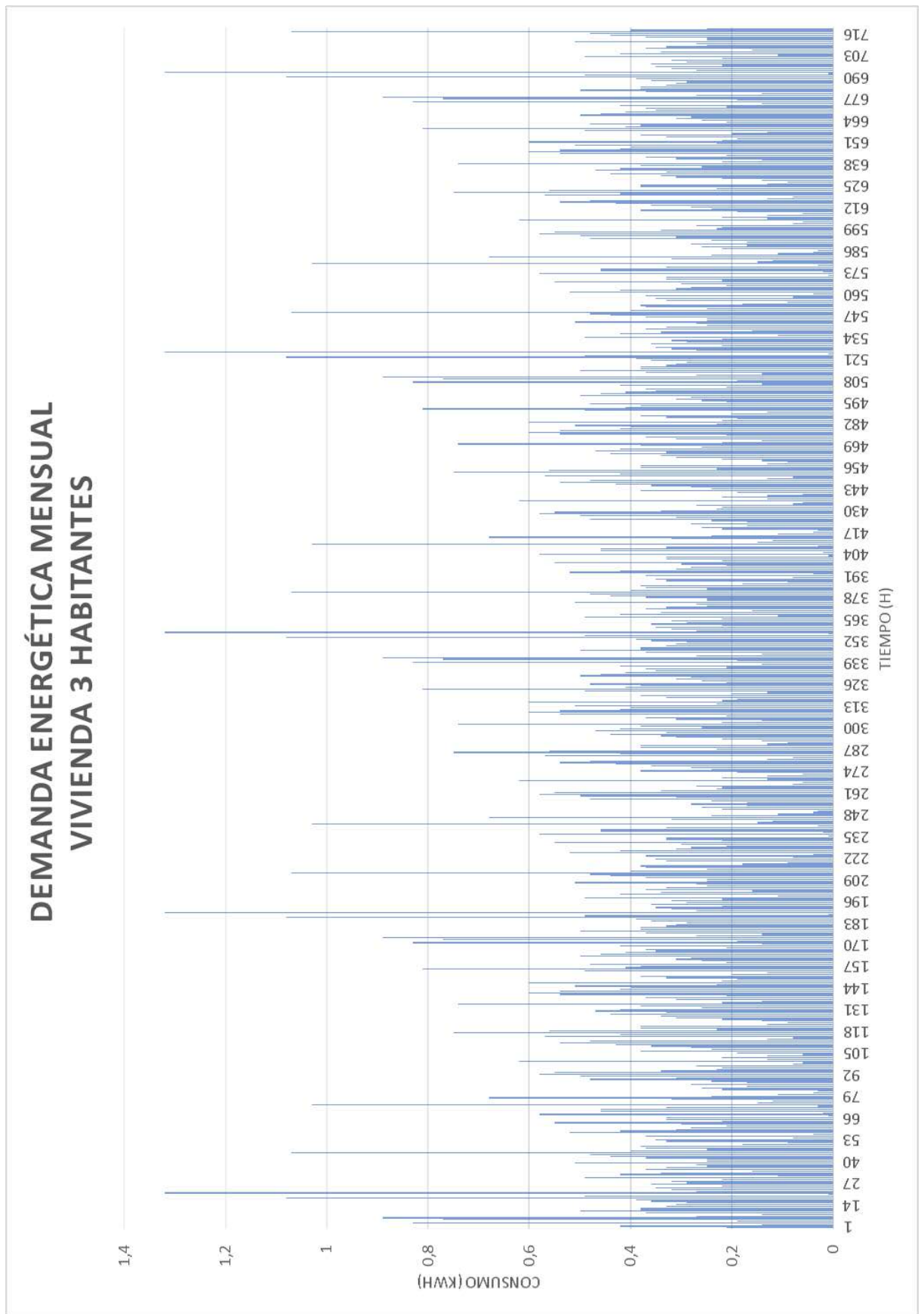
ANEXO A: Demanda energética diaria vivienda de tres habitantes



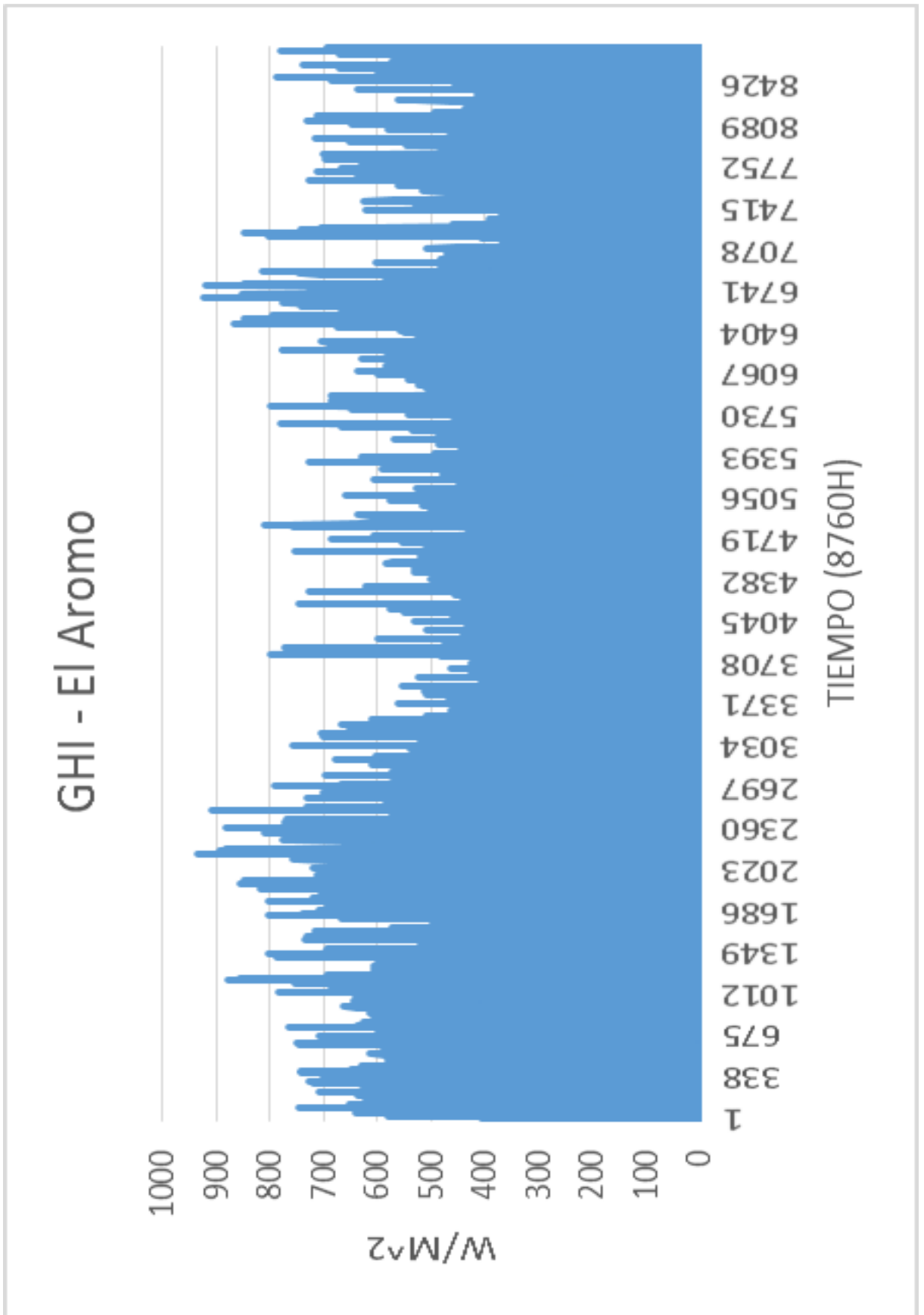
ANEXO B: Demanda energética semanal vivienda tres habitantes



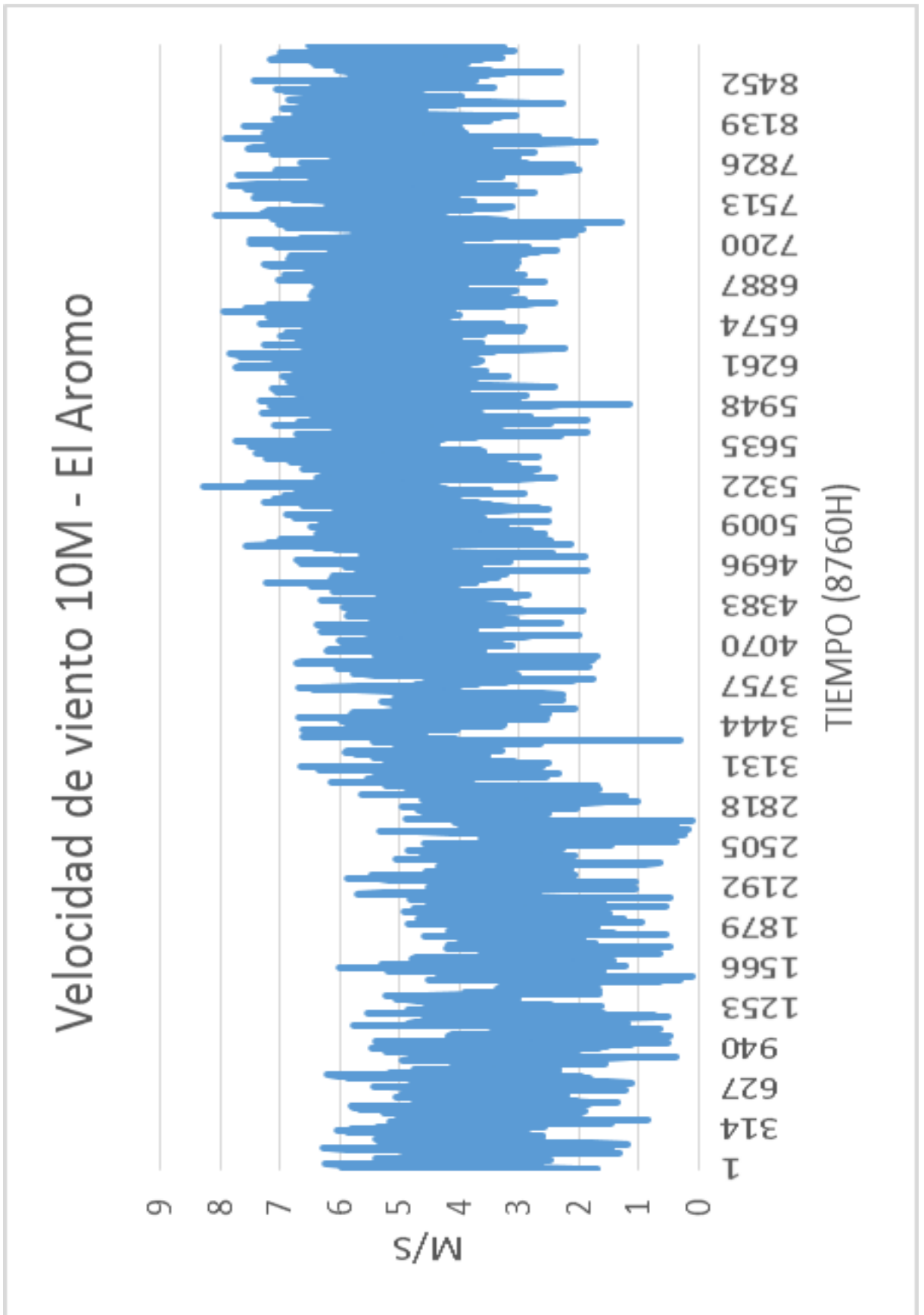
ANEXO C: Demanda energética mensual vivienda 3 habitantes



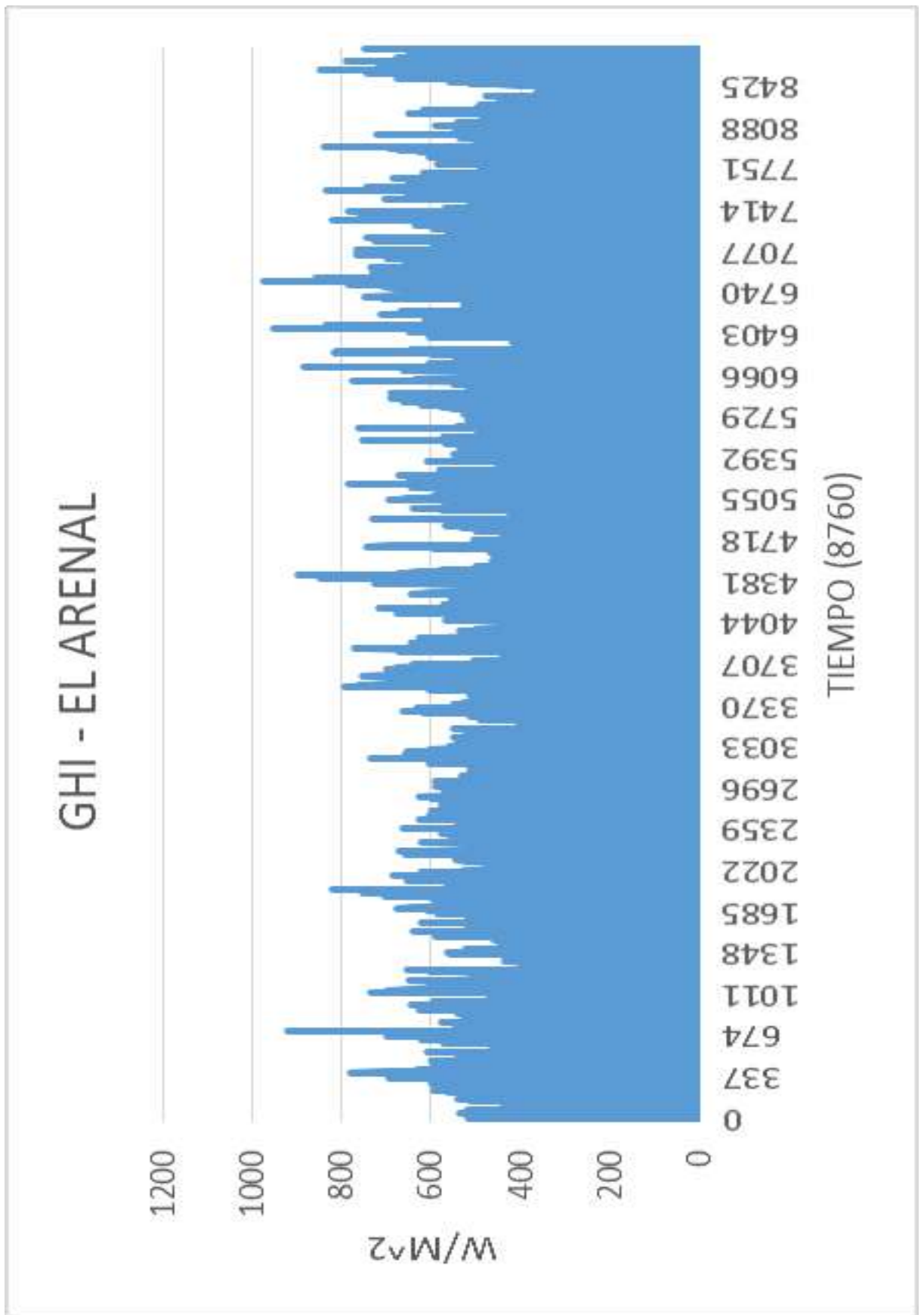
ANEXO D: GHI El Aromo



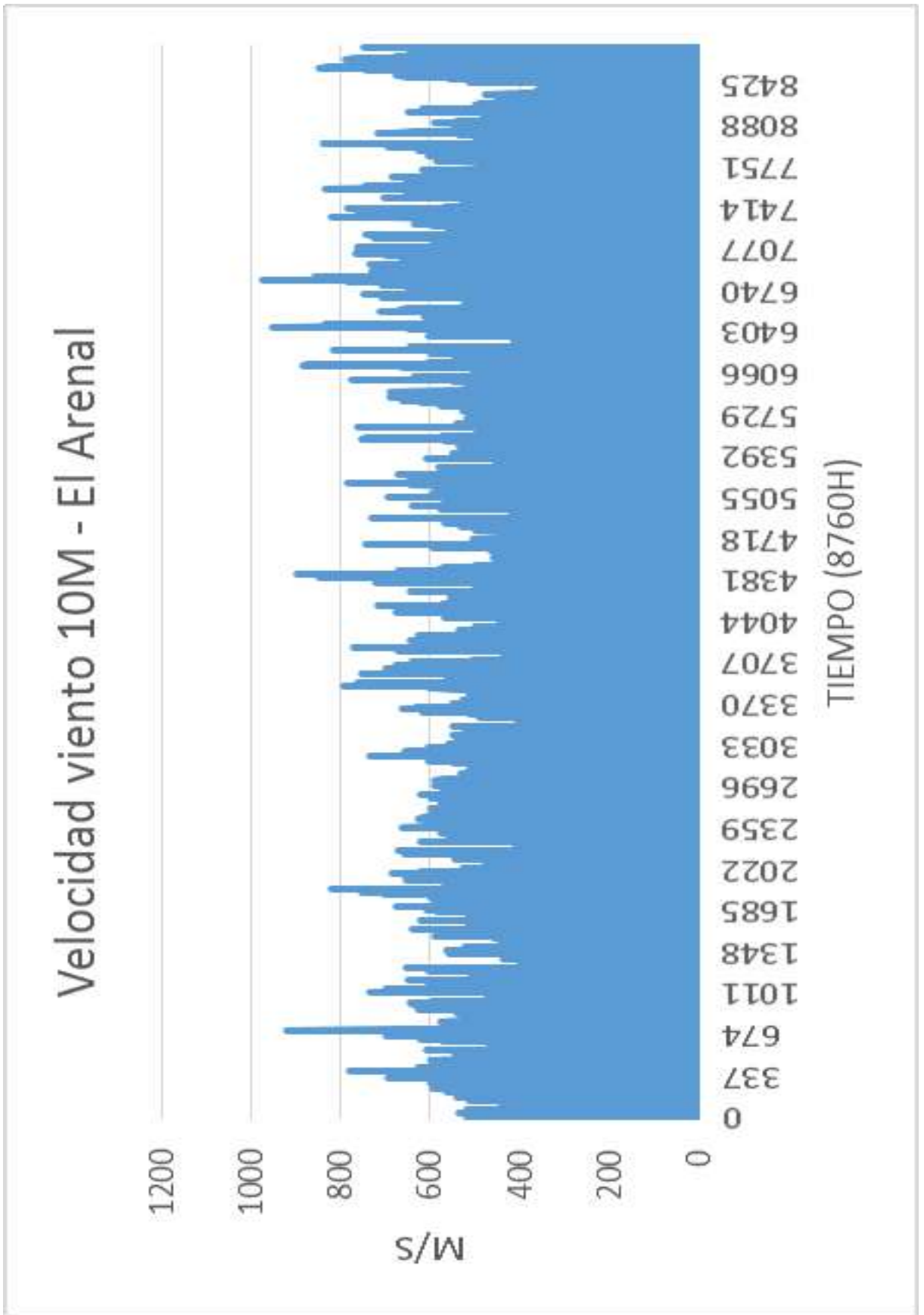
ANEXO E: Velocidad de viento 10M - El Aromo

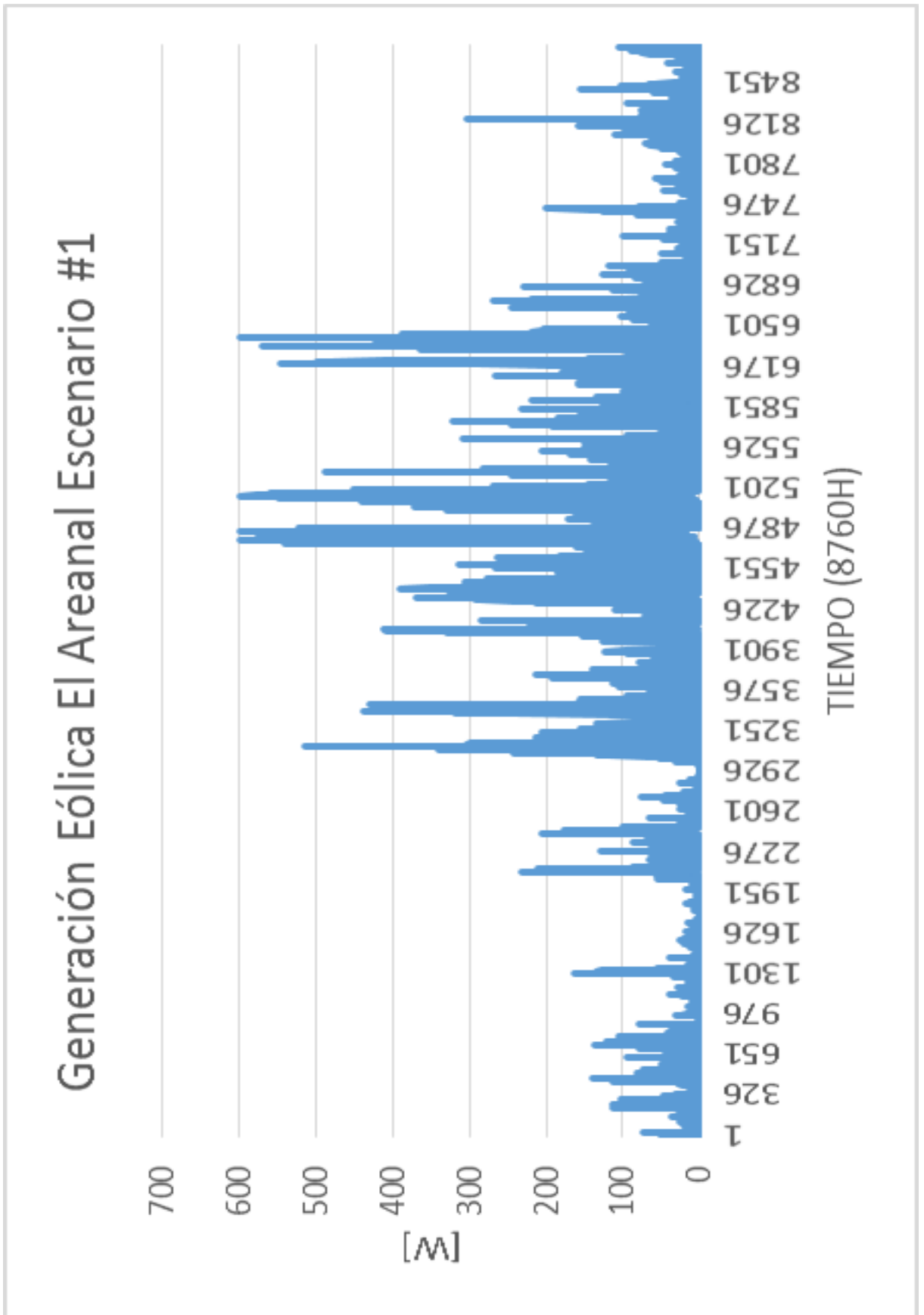


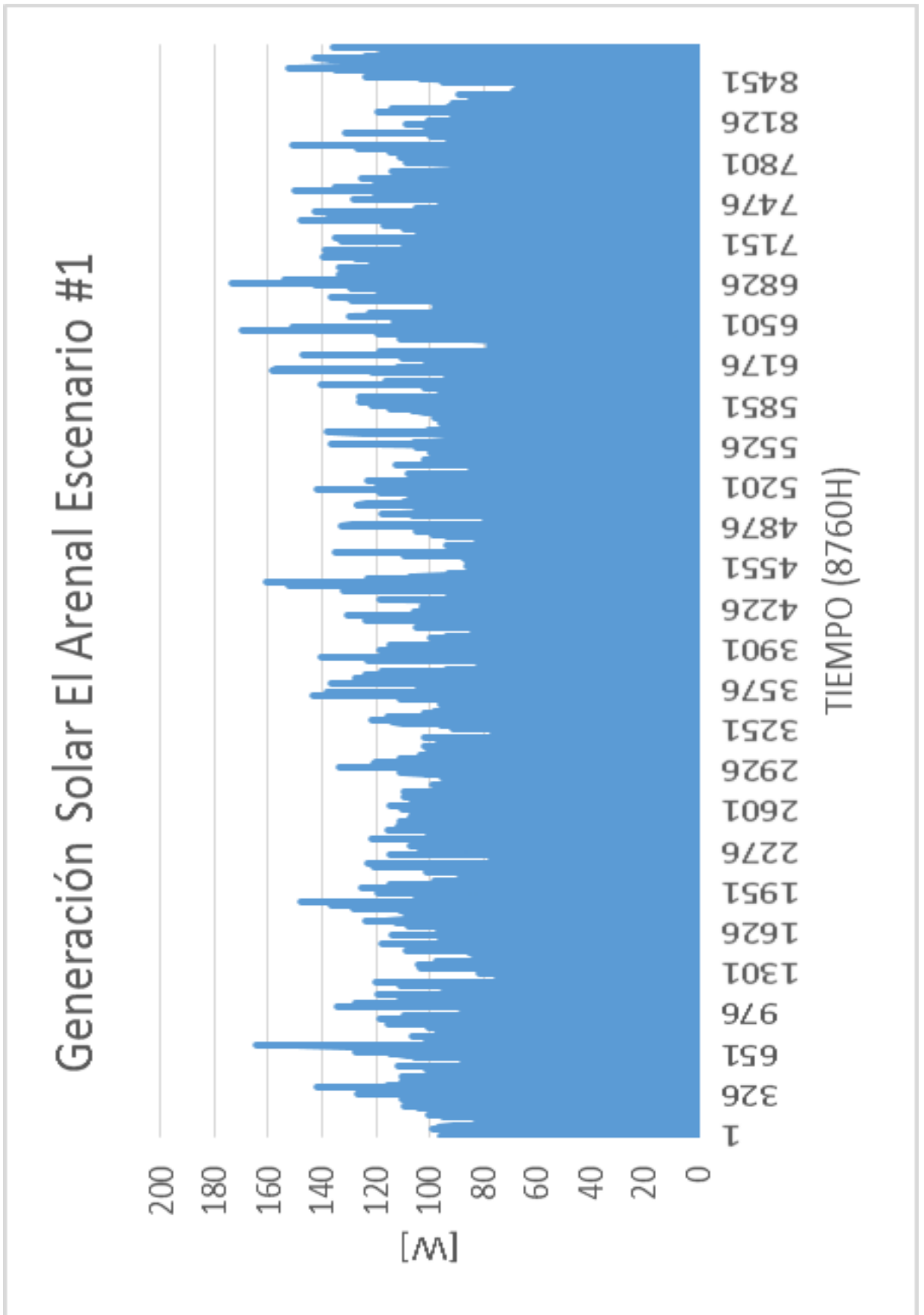
ANEXO F: GHI El Arenal

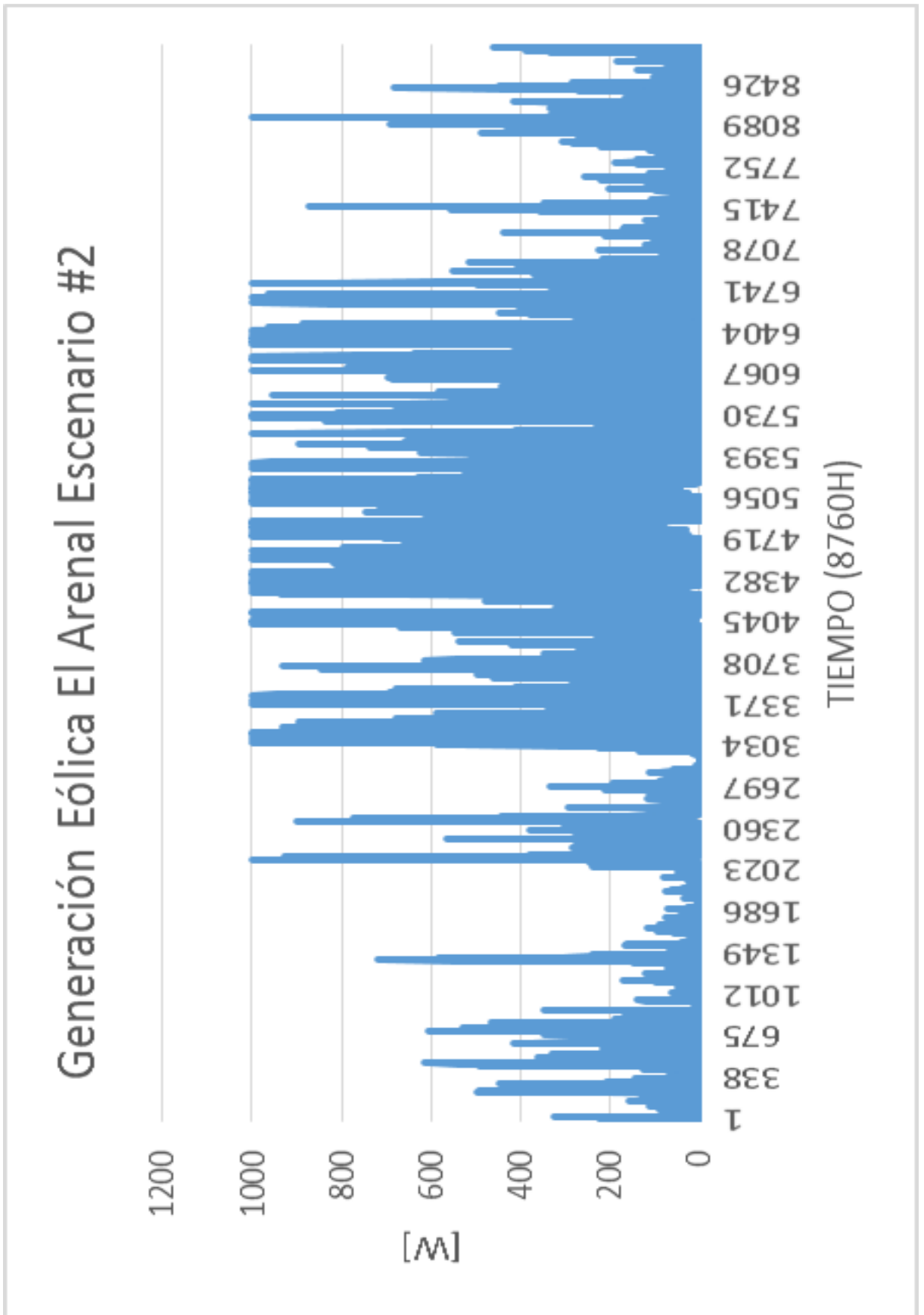


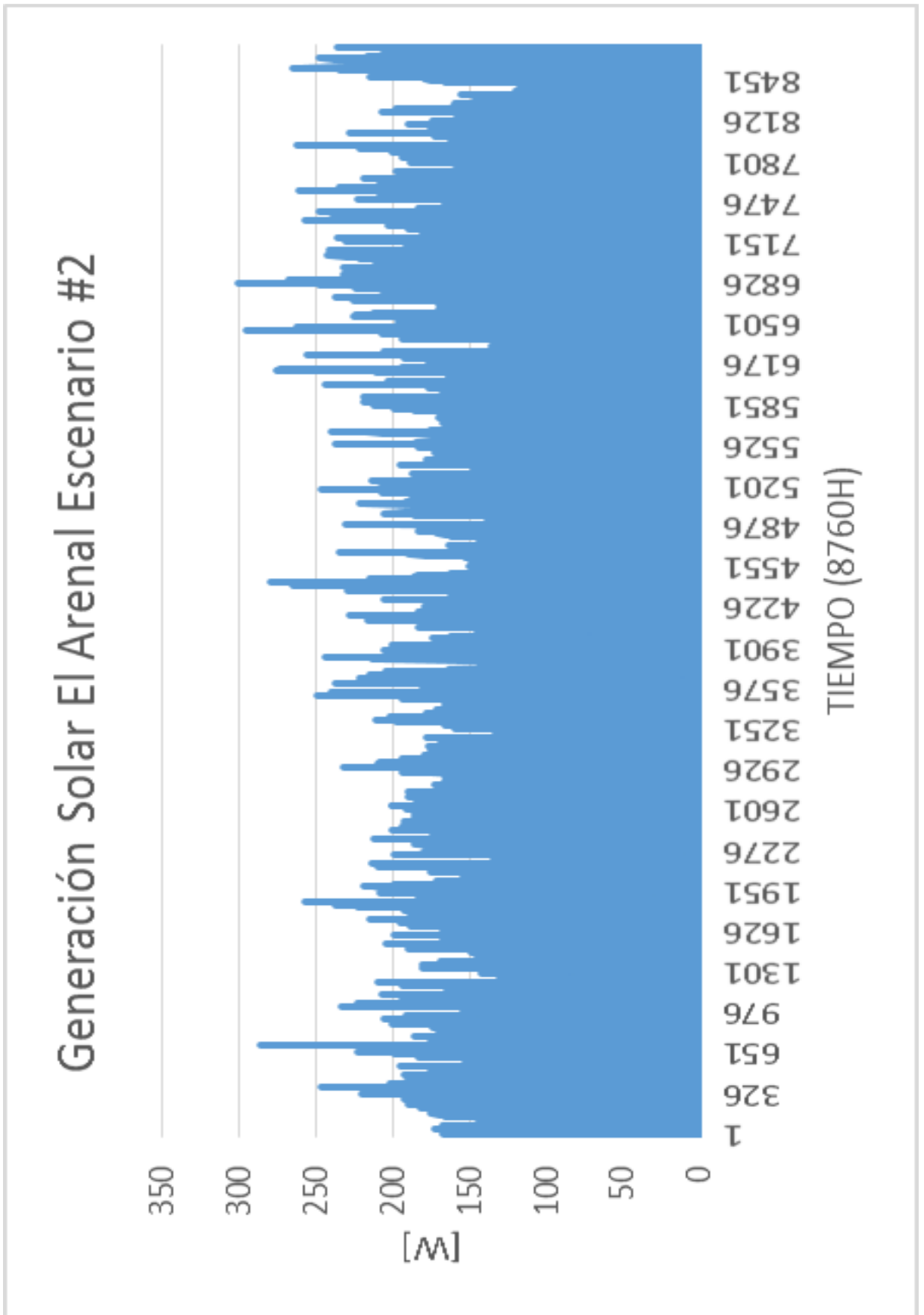
ANEXO G: Velocidad de viento 10M - El Arenal

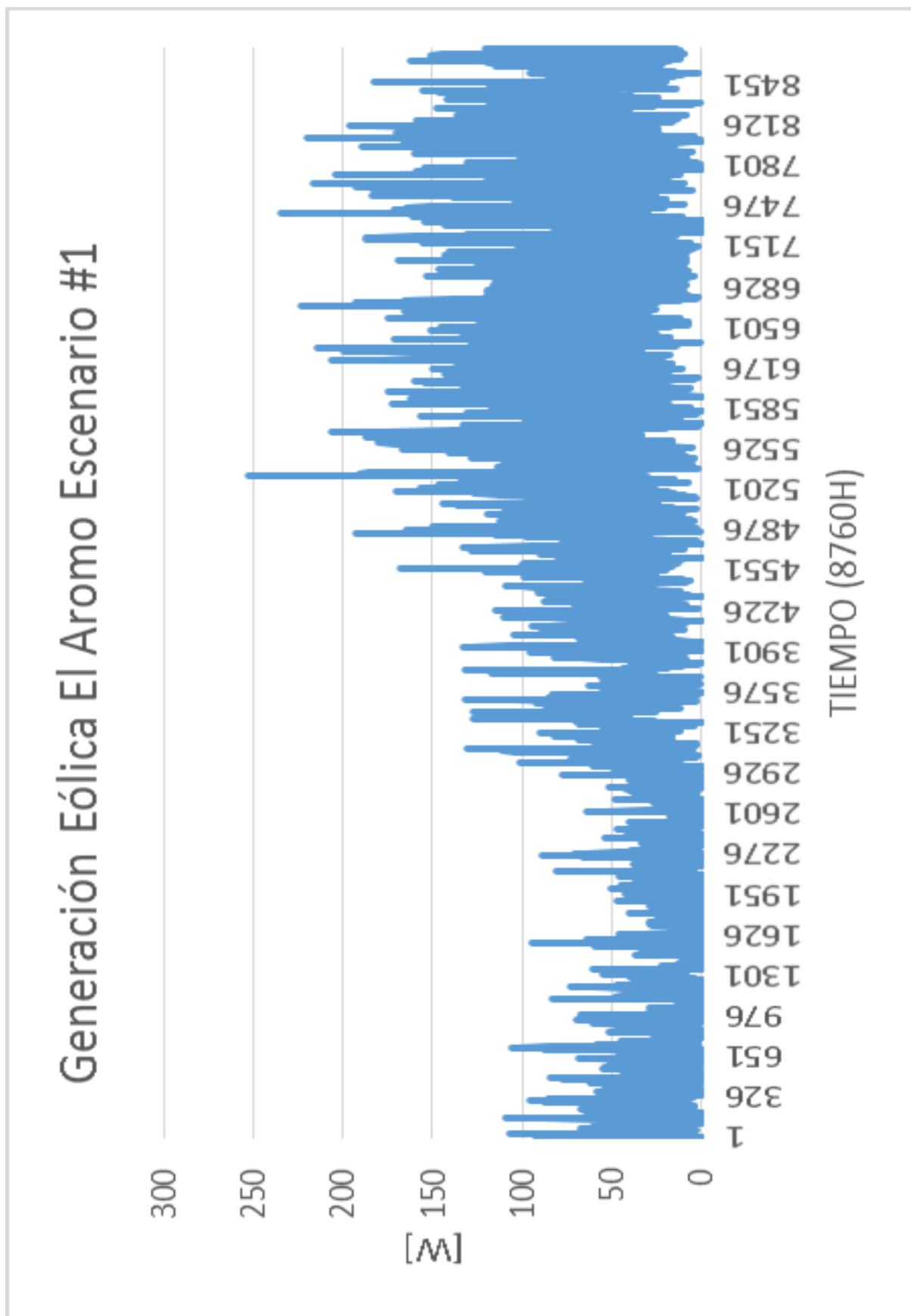


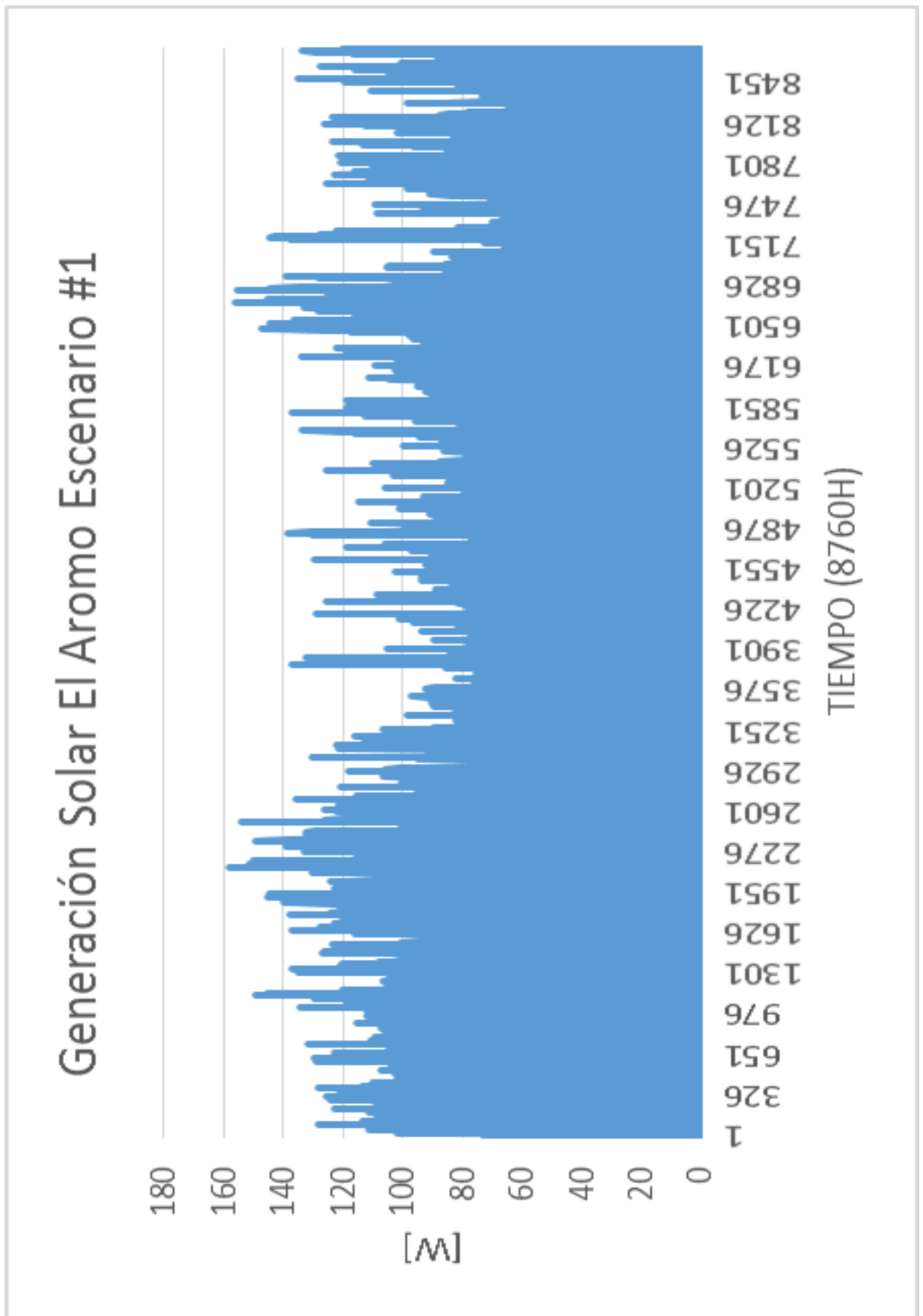


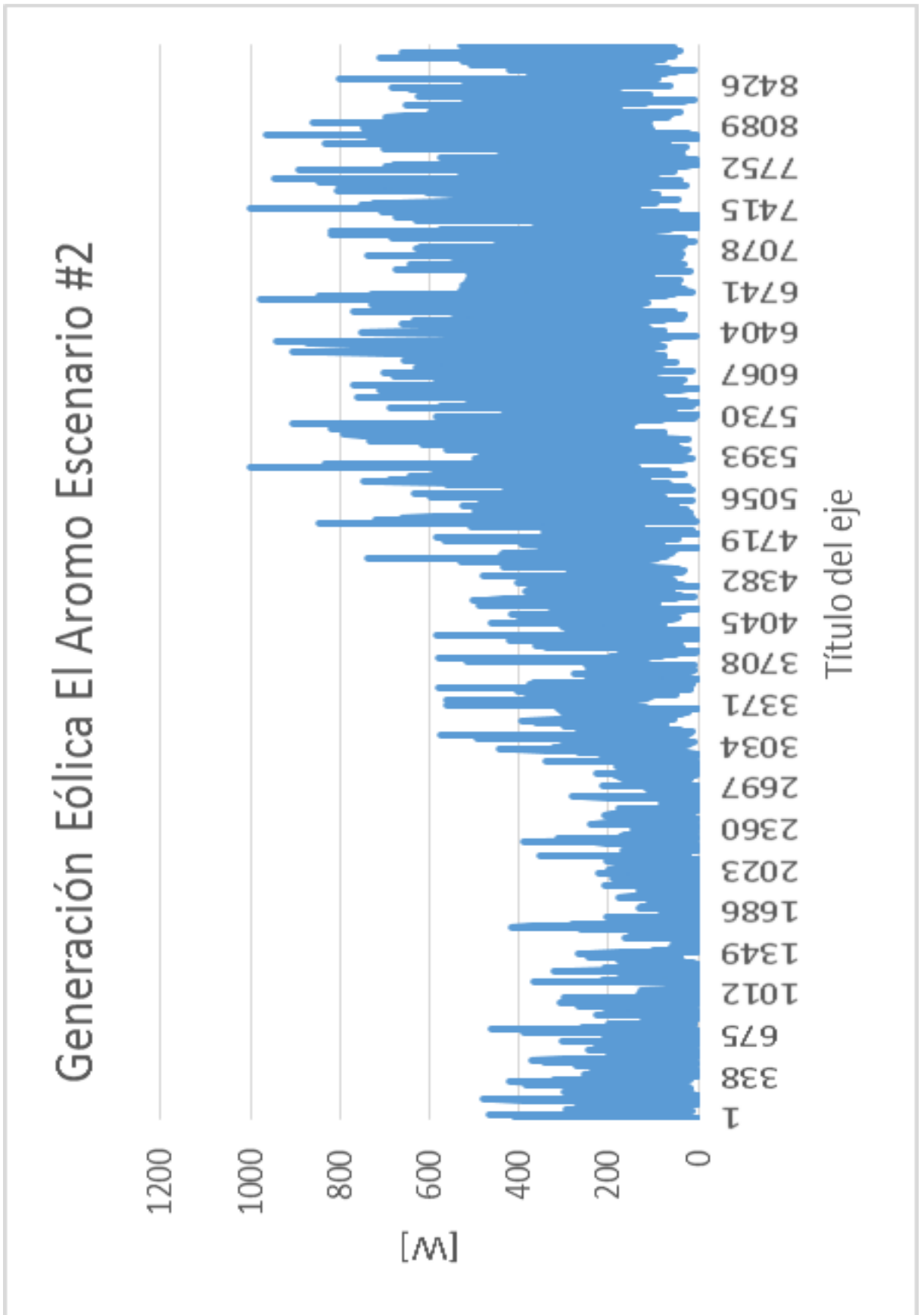


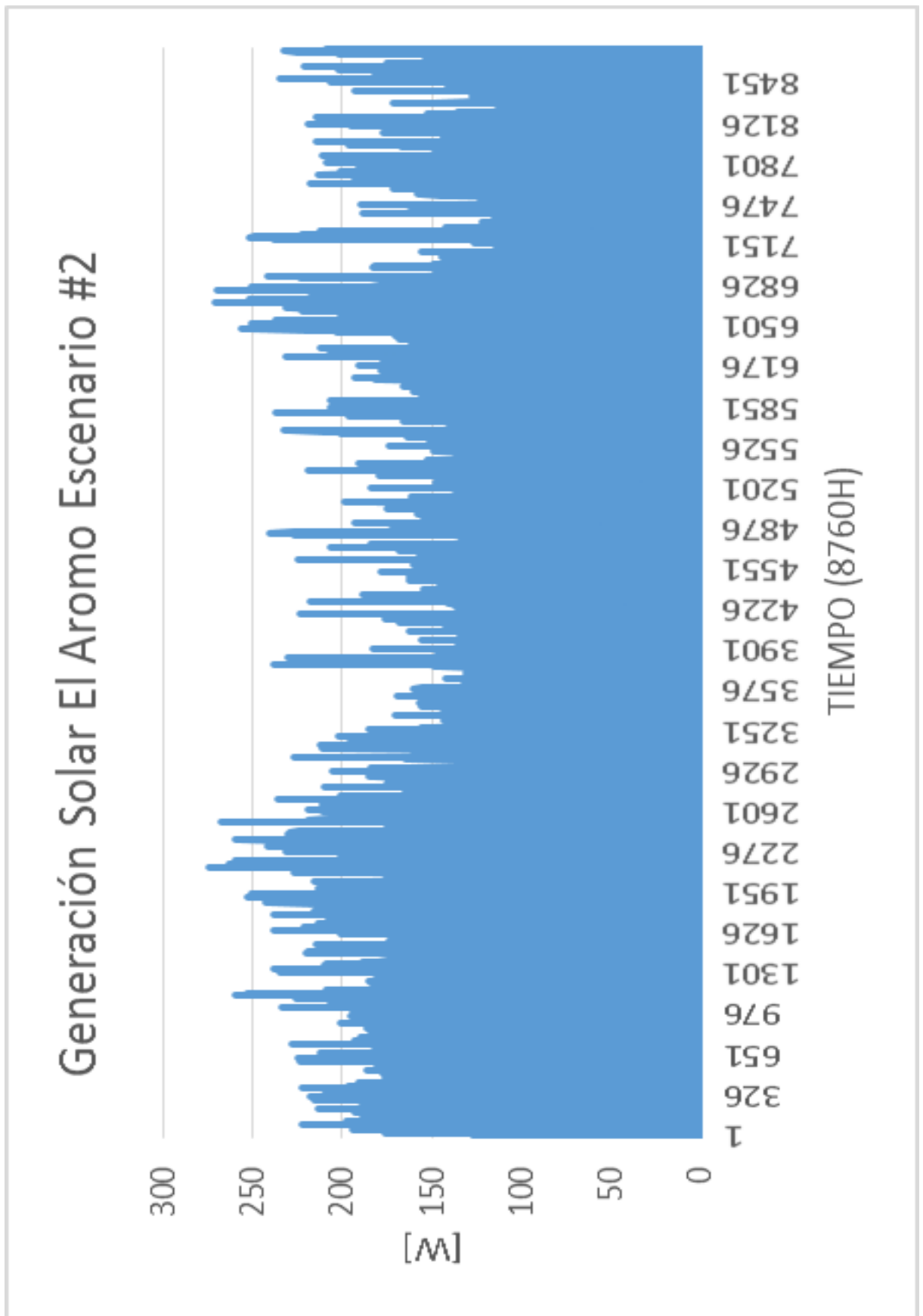












ANEXO P: Soluciones óptimas El Aromo – Escenario #1

Simulación	Fun_obj	Paneles	Turbinas	Baterías	LPS	Inversión
0	40112	75	3	89	0	40112
1	40112	75	3	89	0	40112
2	40112	75	3	89	0	40112
3	40112	75	3	89	0	40112
4	40112	75	3	89	0	40112
5	40800	66	5	89	0	40800
6	40112	75	3	89	0	40112
7	40112	75	3	89	0	40112
8	40112	75	3	89	0	40112
9	41160	84	0	99	0	41160
10	40488	77	2	93	0	40488
11	40488	77	2	93	0	40488
12	40112	75	3	89	0	40112
13	41160	84	0	99	0	41160
14	40112	75	3	89	0	40112
15	40112	75	3	89	0	40112
16	40488	77	2	93	0	40488
17	40112	75	3	89	0	40112
18	40112	75	3	89	0	40112
19	40112	75	3	89	0	40112
20	40112	75	3	89	0	40112
21	8,88178E+84	-762	-499	-546	8,88178E+84	8,88178E+84
22	40112	75	3	89	0	40112
23	41160	84	0	99	0	41160
24	41240	81	0	101	0	41240
25	8,88178E+84	-867	-347	-218	8,88178E+84	8,88178E+84
26	40112	75	3	89	0	40112
27	40864	79	1	97	0	40864
28	40112	75	3	89	0	40112
29	40112	75	3	89	0	40112

ANEXO Q: Soluciones óptimas depuradas El Aromo – Escenario #1

Simulación	Fun_obj	Paneles	Turbinas	Baterías	LPS	Inversión
0	40112	75	3	89	0	40112
1	40112	75	3	89	0	40112
2	40112	75	3	89	0	40112
3	40112	75	3	89	0	40112
4	40112	75	3	89	0	40112
5	40800	66	5	89	0	40800
6	40112	75	3	89	0	40112
7	40112	75	3	89	0	40112
8	40112	75	3	89	0	40112
9	41160	84	0	99	0	41160
10	40488	77	2	93	0	40488
11	40488	77	2	93	0	40488
12	40112	75	3	89	0	40112
13	41160	84	0	99	0	41160
14	40112	75	3	89	0	40112
15	40112	75	3	89	0	40112
16	40488	77	2	93	0	40488
17	40112	75	3	89	0	40112
18	40112	75	3	89	0	40112
19	40112	75	3	89	0	40112
20	40112	75	3	89	0	40112
21	40112	75	3	89	0	40112
22	41160	84	0	99	0	41160
23	41240	81	0	101	0	41240
24	40112	75	3	89	0	40112
25	40864	79	1	97	0	40864
26	40112	75	3	89	0	40112
27	40112	75	3	89	0	40112
PROMEDIO	40356,28571	76,21428571	2,464285714	91,21428571	0	40356,28571
DESV STAN	394,5774283	3,518899411	1,179653183	3,867050767	0	394,5774283

ANEXO R: Soluciones óptimas El Aromo – Escenario #2

Simulación	Fun_obj	Paneles	Turbinas	Baterías	LPS	Inversión
0	42020	39	1	89	0	42020
1	42020	39	1	89	0	42020
2	42020	39	1	89	0	42020
3	42020	39	1	89	0	42020
4	42020	39	1	89	0	42020
5	8,88178E+84	-553	-399	-421	8,88178E+84	8,88178E+84
6	44420	31	1	109	0	44420
7	8,88178E+84	-611	-382	-485	8,88178E+84	8,88178E+84
8	42640	34	2	93	0	42640
9	42640	34	2	93	0	42640
10	42020	39	1	89	0	42020
11	42020	39	1	89	0	42020
12	42020	39	1	89	0	42020
13	42020	39	1	89	0	42020
14	42020	39	1	89	0	42020
15	42020	39	1	89	0	42020
16	42020	39	1	89	0	42020
17	42180	38	1	91	0	42180
18	42020	39	1	89	0	42020
19	42020	39	1	89	0	42020
20	42020	39	1	89	0	42020
21	42020	39	1	89	0	42020
22	42180	38	1	91	0	42180
23	42020	39	1	89	0	42020
24	42020	39	1	89	0	42020
25	42020	39	1	89	0	42020
26	42180	38	1	91	0	42180
27	42020	39	1	89	0	42020
28	42020	39	1	89	0	42020
29	8,88178E+84	-936	-1318	-314	8,88178E+84	8,88178E+84

ANEXO S: Soluciones óptimas depuradas El Aromo – Escenario #2

Simulación	Fun_obj	Paneles	Turbinas	Baterías	LPS	Inversión
0	42020	39	1	89	0	42020
1	42020	39	1	89	0	42020
2	42020	39	1	89	0	42020
3	42020	39	1	89	0	42020
4	42020	39	1	89	0	42020
5	44420	31	1	109	0	44420
6	42640	34	2	93	0	42640
7	42640	34	2	93	0	42640
8	42020	39	1	89	0	42020
9	42020	39	1	89	0	42020
10	42020	39	1	89	0	42020
11	42020	39	1	89	0	42020
12	42020	39	1	89	0	42020
13	42020	39	1	89	0	42020
14	42020	39	1	89	0	42020
15	42180	38	1	91	0	42180
16	42020	39	1	89	0	42020
17	42020	39	1	89	0	42020
18	42020	39	1	89	0	42020
19	42020	39	1	89	0	42020
20	42180	38	1	91	0	42180
21	42020	39	1	89	0	42020
22	42020	39	1	89	0	42020
23	42020	39	1	89	0	42020
24	42180	38	1	91	0	42180
25	42020	39	1	89	0	42020
26	42020	39	1	89	0	42020
PROMEDIO	42172,59259	38,22222222	1,074074074	90,25925926	0	42172,59259
DESV STD	470,4969209	1,930905244	0,2618914	3,854699802	0	470,4969209

ANEXO T: Soluciones óptimas El Arenal – Escenario #1

Simulación	Fun_obj	Paneles	Turbinas	Baterías	LPS	Inversión
0	37880	74	0	93	0	37880
1	37880	74	0	93	0	37880
2	8,88178E+84	-344	-234	-627	8,88178E+84	8,88178E+84
3	37880	74	0	93	0	37880
4	37880	74	0	93	0	37880
5	37880	74	0	93	0	37880
6	37880	74	0	93	0	37880
7	37880	74	0	93	0	37880
8	37880	74	0	93	0	37880
9	37880	74	0	93	0	37880
10	37880	74	0	93	0	37880
11	37880	74	0	93	0	37880
12	37880	74	0	93	0	37880
13	37880	74	0	93	0	37880
14	37880	74	0	93	0	37880
15	8,88178E+84	-596	-493	-616	8,88178E+84	8,88178E+84
16	37880	74	0	93	0	37880
17	37880	74	0	93	0	37880
18	37880	74	0	93	0	37880
19	8,88178E+84	-723	-922	-529	8,88178E+84	8,88178E+84
20	37880	74	0	93	0	37880
21	37880	74	0	93	0	37880
22	8,88178E+84	-239	-634	-714	8,88178E+84	8,88178E+84
23	37880	74	0	93	0	37880
24	37880	74	0	93	0	37880
25	37880	74	0	93	0	37880
26	37880	74	0	93	0	37880
27	37880	74	0	93	0	37880
28	37880	74	0	93	0	37880
29	37880	74	0	93	0	37880

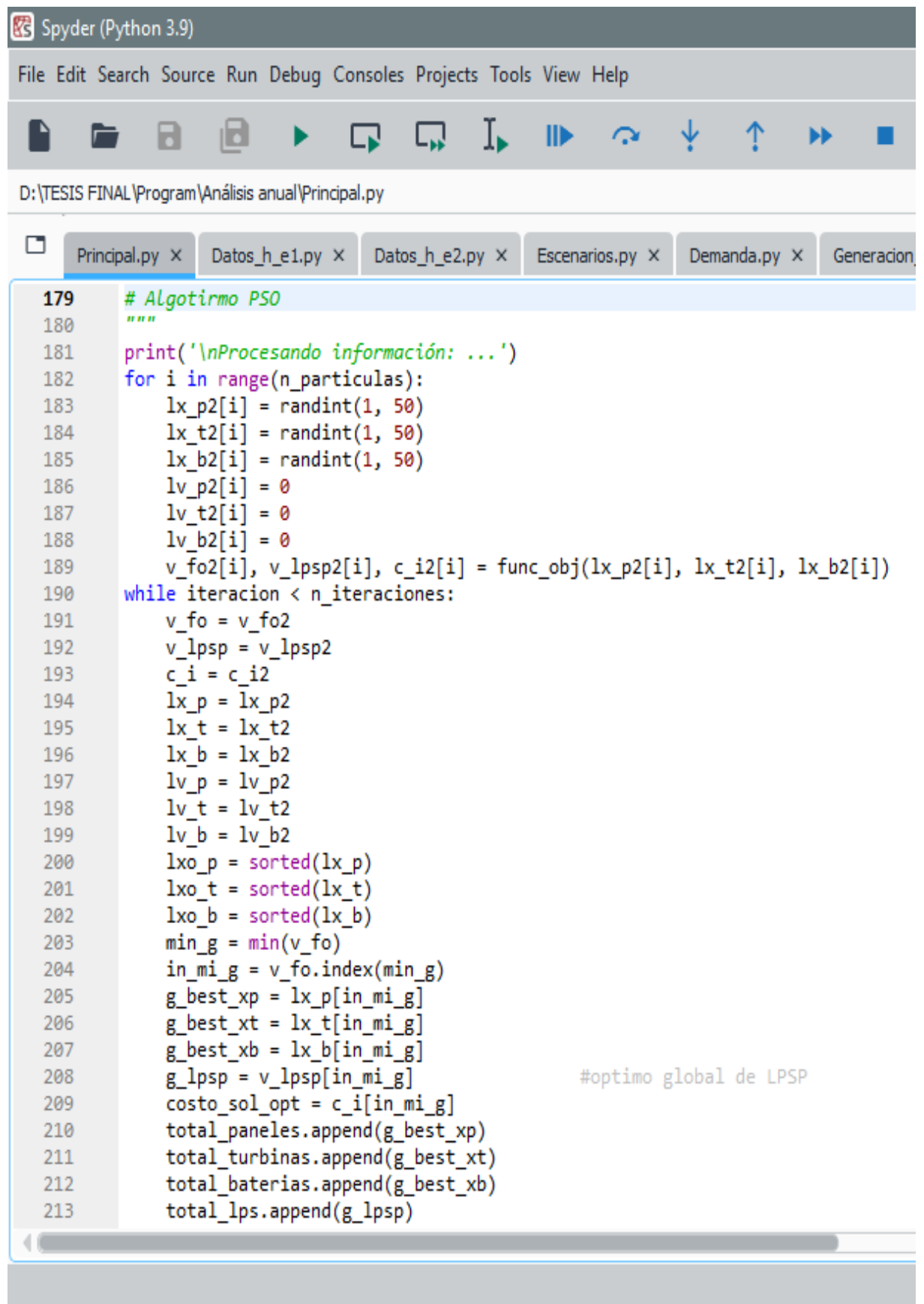
ANEXO U: Soluciones óptimas depuradas El Arenal – Escenario #1

Simulación	Fun_obj	Paneles	Turbinas	Baterías	LPS	Inversión
0	37880	74	0	93	0	37880
1	37880	74	0	93	0	37880
2	37880	74	0	93	0	37880
3	37880	74	0	93	0	37880
4	37880	74	0	93	0	37880
5	37880	74	0	93	0	37880
6	37880	74	0	93	0	37880
7	37880	74	0	93	0	37880
8	37880	74	0	93	0	37880
9	37880	74	0	93	0	37880
10	37880	74	0	93	0	37880
11	37880	74	0	93	0	37880
12	37880	74	0	93	0	37880
13	37880	74	0	93	0	37880
14	37880	74	0	93	0	37880
15	37880	74	0	93	0	37880
16	37880	74	0	93	0	37880
17	37880	74	0	93	0	37880
18	37880	74	0	93	0	37880
19	37880	74	0	93	0	37880
20	37880	74	0	93	0	37880
21	37880	74	0	93	0	37880
22	37880	74	0	93	0	37880
23	37880	74	0	93	0	37880
24	37880	74	0	93	0	37880
25	37880	74	0	93	0	37880
PROMEDIO	37880	74	0	93	0	37880
DESV STAN	0	0	0	0	0	0

ANEXO V: Soluciones óptimas El Arenal – Escenario #2

Simulación	Fun_obj	Paneles	Turbinas	Baterías	LPS	Inversión
0	43240	43	0	93	0	43240
1	43240	43	0	93	0	43240
2	43240	43	0	93	0	43240
3	43240	43	0	93	0	43240
4	43240	43	0	93	0	43240
5	43240	43	0	93	0	43240
6	43240	43	0	93	0	43240
7	43240	43	0	93	0	43240
8	43240	43	0	93	0	43240
9	43240	43	0	93	0	43240
10	43240	43	0	93	0	43240
11	43240	43	0	93	0	43240
12	43240	43	0	93	0	43240
13	43240	43	0	93	0	43240
14	43240	43	0	93	0	43240
15	43240	43	0	93	0	43240
16	43240	43	0	93	0	43240
17	43240	43	0	93	0	43240
18	43240	43	0	93	0	43240
19	43240	43	0	93	0	43240
20	43240	43	0	93	0	43240
21	43240	43	0	93	0	43240
22	43240	43	0	93	0	43240
23	43240	43	0	93	0	43240
24	43240	43	0	93	0	43240
25	43240	43	0	93	0	43240
26	43240	43	0	93	0	43240
27	43240	43	0	93	0	43240
28	43240	43	0	93	0	43240
29	43240	43	0	93	0	43240
PROMEDIO	43240	43	0	93	0	43240
DESV STN	0	0	0	0	0	0

ANEXO W: Código – función Principal 1



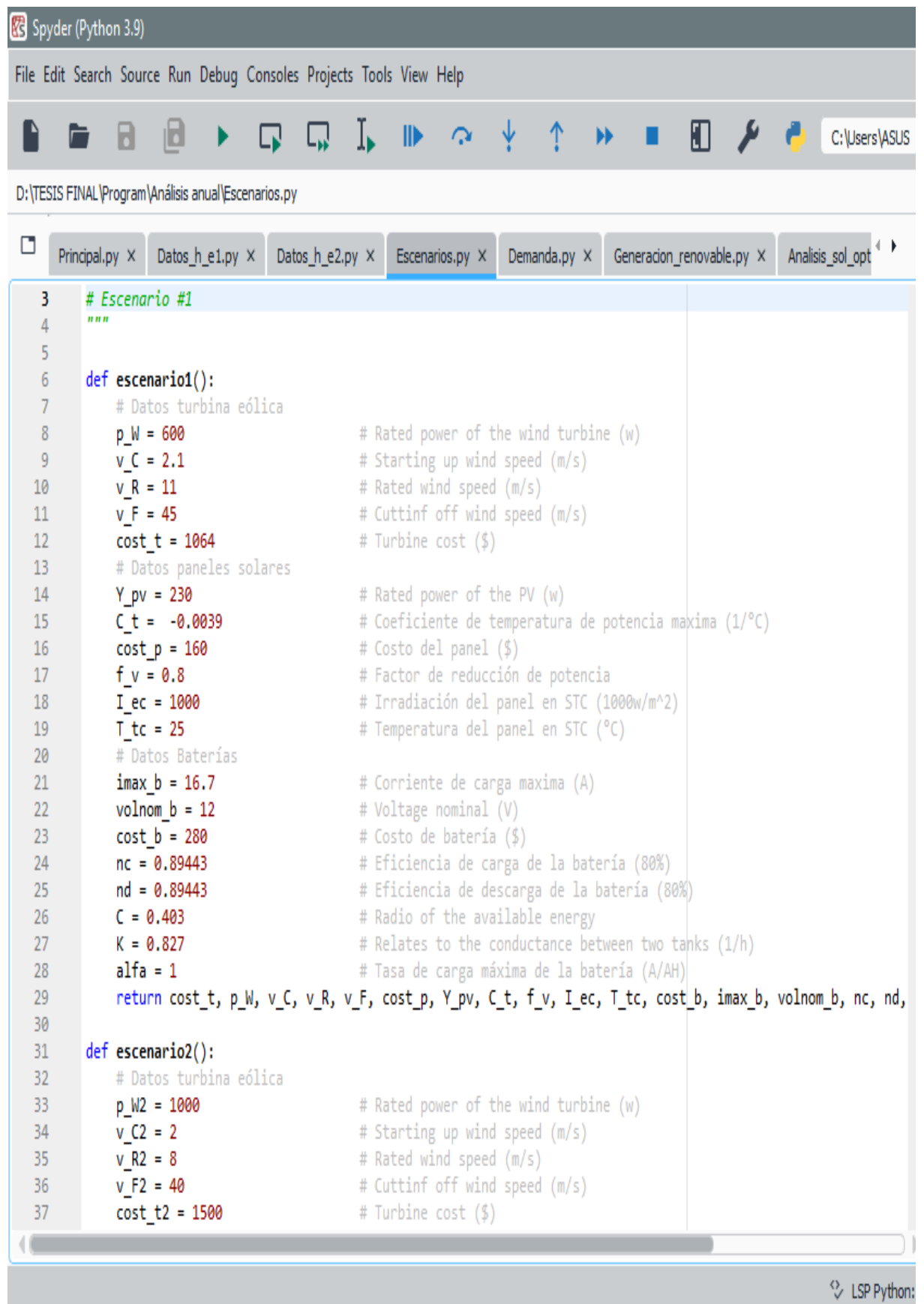
```
Spyder (Python 3.9)
File Edit Search Source Run Debug Consoles Projects Tools View Help

D:\TESIS FINAL\Program\Análisis anual\Principal.py

Principal.py x Datos_h_e1.py x Datos_h_e2.py x Escenarios.py x Demanda.py x Generacion

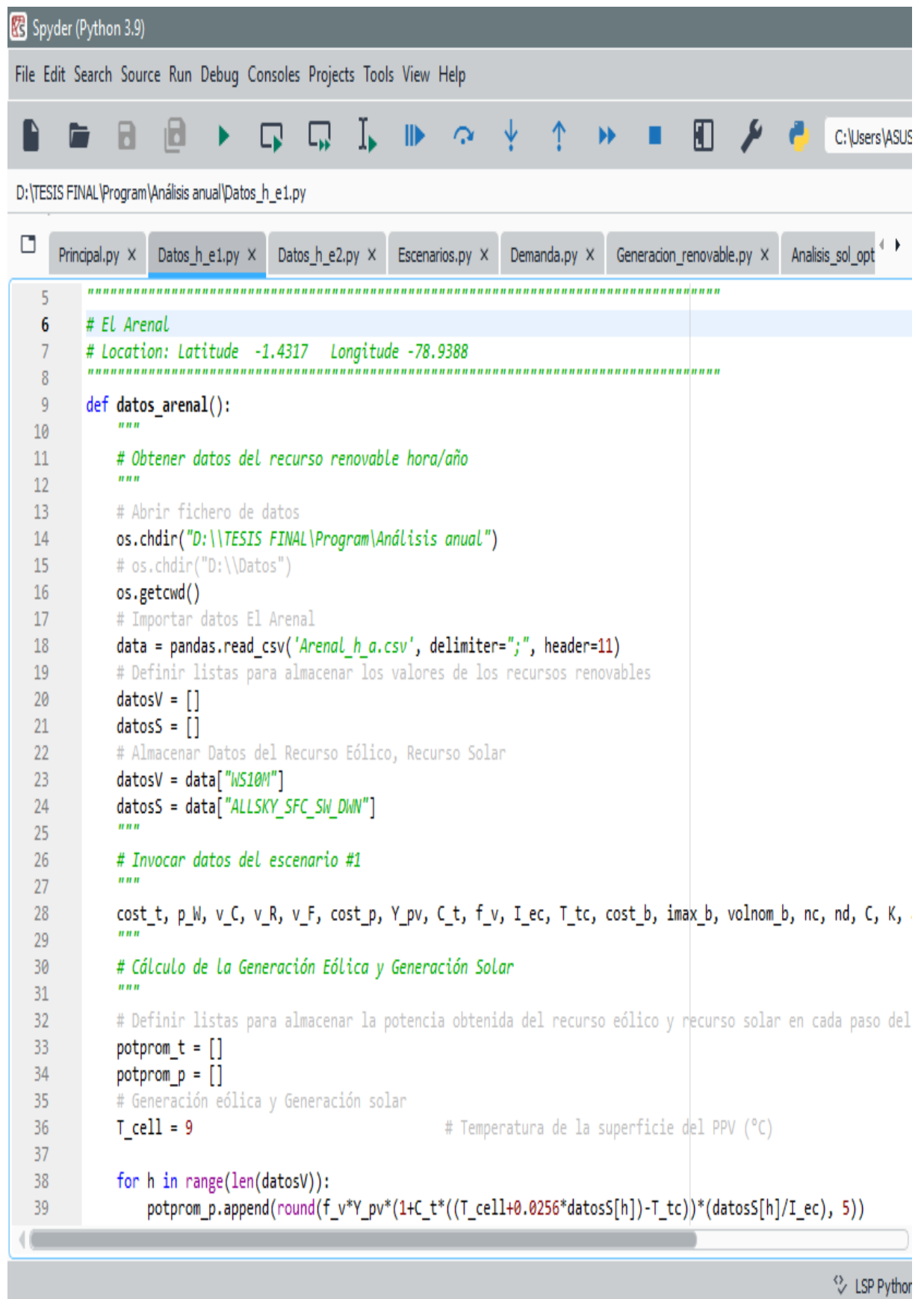
179 # Algoritmo PSO
180 """
181 print('\nProcesando información: ...')
182 for i in range(n_particulas):
183     lx_p2[i] = randint(1, 50)
184     lx_t2[i] = randint(1, 50)
185     lx_b2[i] = randint(1, 50)
186     lv_p2[i] = 0
187     lv_t2[i] = 0
188     lv_b2[i] = 0
189     v_fo2[i], v_lpsp2[i], c_i2[i] = func_obj(lx_p2[i], lx_t2[i], lx_b2[i])
190 while iteracion < n_iteraciones:
191     v_fo = v_fo2
192     v_lpsp = v_lpsp2
193     c_i = c_i2
194     lx_p = lx_p2
195     lx_t = lx_t2
196     lx_b = lx_b2
197     lv_p = lv_p2
198     lv_t = lv_t2
199     lv_b = lv_b2
200     lxo_p = sorted(lx_p)
201     lxo_t = sorted(lx_t)
202     lxo_b = sorted(lx_b)
203     min_g = min(v_fo)
204     in_mi_g = v_fo.index(min_g)
205     g_best_xp = lx_p[in_mi_g]
206     g_best_xt = lx_t[in_mi_g]
207     g_best_xb = lx_b[in_mi_g]
208     g_lpsp = v_lpsp[in_mi_g] #optimo global de LPSP
209     costo_sol_opt = c_i[in_mi_g]
210     total_paneles.append(g_best_xp)
211     total_turbinas.append(g_best_xt)
212     total_baterias.append(g_best_xb)
213     total_lps.append(g_lpsp)
```

ANEXO X: Código – función Escenarios



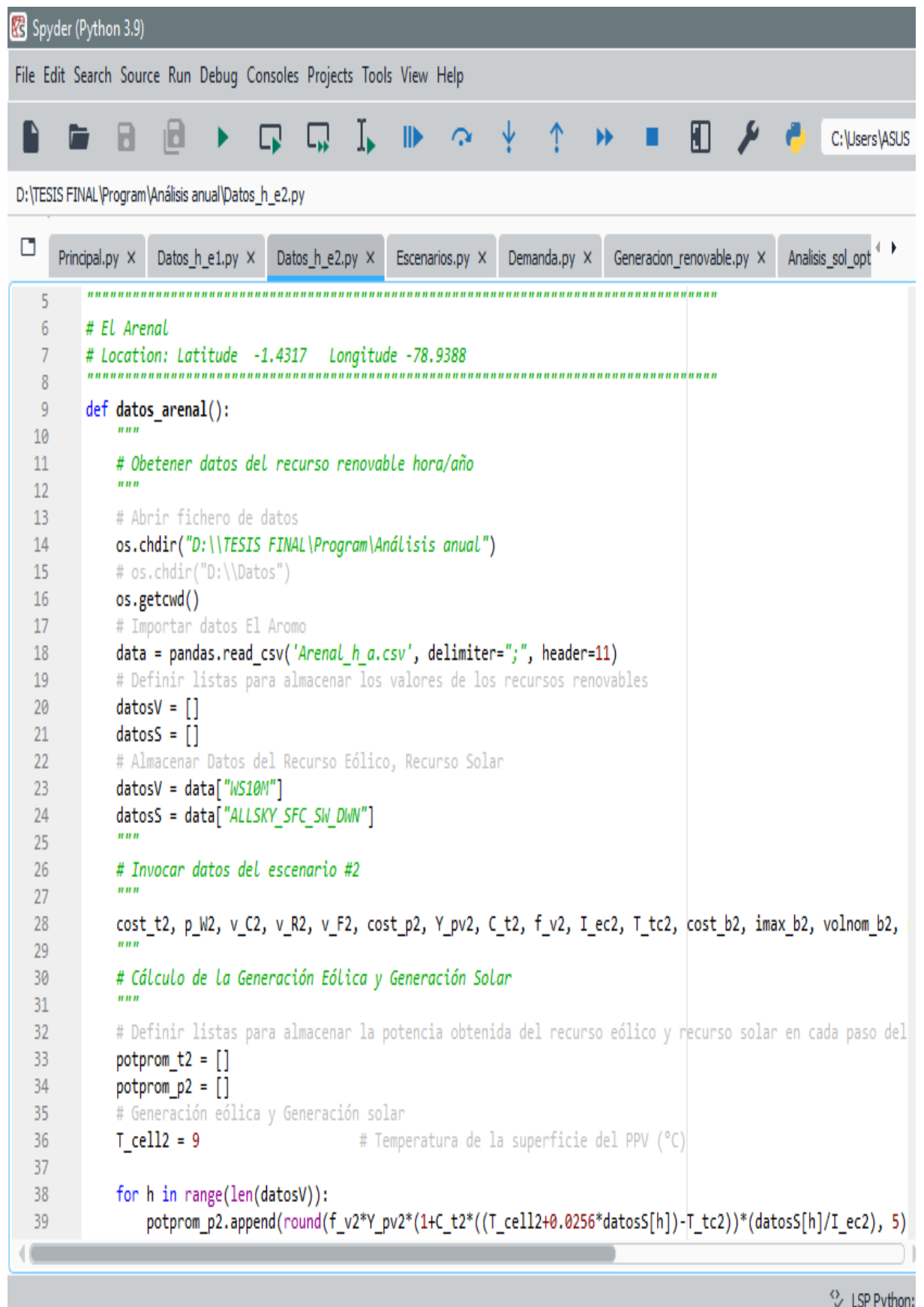
```
3 # Escenario #1
4 """
5
6 def escenario1():
7     # Datos turbina eólica
8     p_w = 600 # Rated power of the wind turbine (w)
9     v_c = 2.1 # Starting up wind speed (m/s)
10    v_r = 11 # Rated wind speed (m/s)
11    v_f = 45 # Cuttinf off wind speed (m/s)
12    cost_t = 1064 # Turbine cost ($)
13    # Datos paneles solares
14    Y_pv = 230 # Rated power of the PV (w)
15    C_t = -0.0039 # Coeficiente de temperatura de potencia maxima (1/°C)
16    cost_p = 160 # Costo del panel ($)
17    f_v = 0.8 # Factor de reducción de potencia
18    I_ec = 1000 # Irradiación del panel en STC (1000w/m^2)
19    T_tc = 25 # Temperatura del panel en STC (°C)
20    # Datos Baterías
21    imax_b = 16.7 # Corriente de carga maxima (A)
22    volnom_b = 12 # Voltage nominal (V)
23    cost_b = 280 # Costo de batería ($)
24    nc = 0.89443 # Eficiencia de carga de la batería (80%)
25    nd = 0.89443 # Eficiencia de descarga de la batería (80%)
26    C = 0.403 # Radio of the available energy
27    K = 0.827 # Relates to the conductance between two tanks (1/h)
28    alfa = 1 # Tasa de carga máxima de la batería (A/AH)
29    return cost_t, p_w, v_c, v_r, v_f, cost_p, Y_pv, C_t, f_v, I_ec, T_tc, cost_b, imax_b, volnom_b, nc, nd,
30
31 def escenario2():
32     # Datos turbina eólica
33     p_w2 = 1000 # Rated power of the wind turbine (w)
34     v_c2 = 2 # Starting up wind speed (m/s)
35     v_r2 = 8 # Rated wind speed (m/s)
36     v_f2 = 40 # Cuttinf off wind speed (m/s)
37     cost_t2 = 1500 # Turbine cost ($)
```

ANEXO Y: Código – Datos por hora Escenario #1



```
Spyder (Python 3.9)
File Edit Search Source Run Debug Consoles Projects Tools View Help
D:\TESIS FINAL\Program\Análisis anual\Datos_h_e1.py
Principal.py x Datos_h_e1.py x Datos_h_e2.py x Escenarios.py x Demanda.py x Generacion_renovable.py x Analisis_sol_opt
5  """
6  # El Arenal
7  # Location: Latitude -1.4317 Longitude -78.9388
8  """
9  def datos_arenal():
10     """
11     # Obtener datos del recurso renovable hora/año
12     """
13     # Abrir fichero de datos
14     os.chdir("D:\\TESIS FINAL\\Program\\Análisis anual")
15     # os.chdir("D:\\Datos")
16     os.getcwd()
17     # Importar datos El Arenal
18     data = pandas.read_csv('Arenal_h_a.csv', delimiter=";", header=11)
19     # Definir listas para almacenar los valores de los recursos renovables
20     datosV = []
21     datosS = []
22     # Almacenar Datos del Recurso Eólico, Recurso Solar
23     datosV = data["WS10M"]
24     datosS = data["ALLSKY_SFC_SW_DWN"]
25     """
26     # Invocar datos del escenario #1
27     """
28     cost_t, p_W, v_C, v_R, v_F, cost_p, Y_pv, C_t, f_v, I_ec, T_tc, cost_b, imax_b, volnom_b, nc, nd, C, K,
29     """
30     # Cálculo de La Generación Eólica y Generación Solar
31     """
32     # Definir listas para almacenar la potencia obtenida del recurso eólico y recurso solar en cada paso del
33     potprom_t = []
34     potprom_p = []
35     # Generación eólica y Generación solar
36     T_cell = 9 # Temperatura de la superficie del PPV (°C)
37
38     for h in range(len(datosV)):
39         potprom_p.append(round(f_v*Y_pv*(1+C_t*((T_cell+0.0256*datosS[h])-T_tc))*(datosS[h]/I_ec), 5))
```

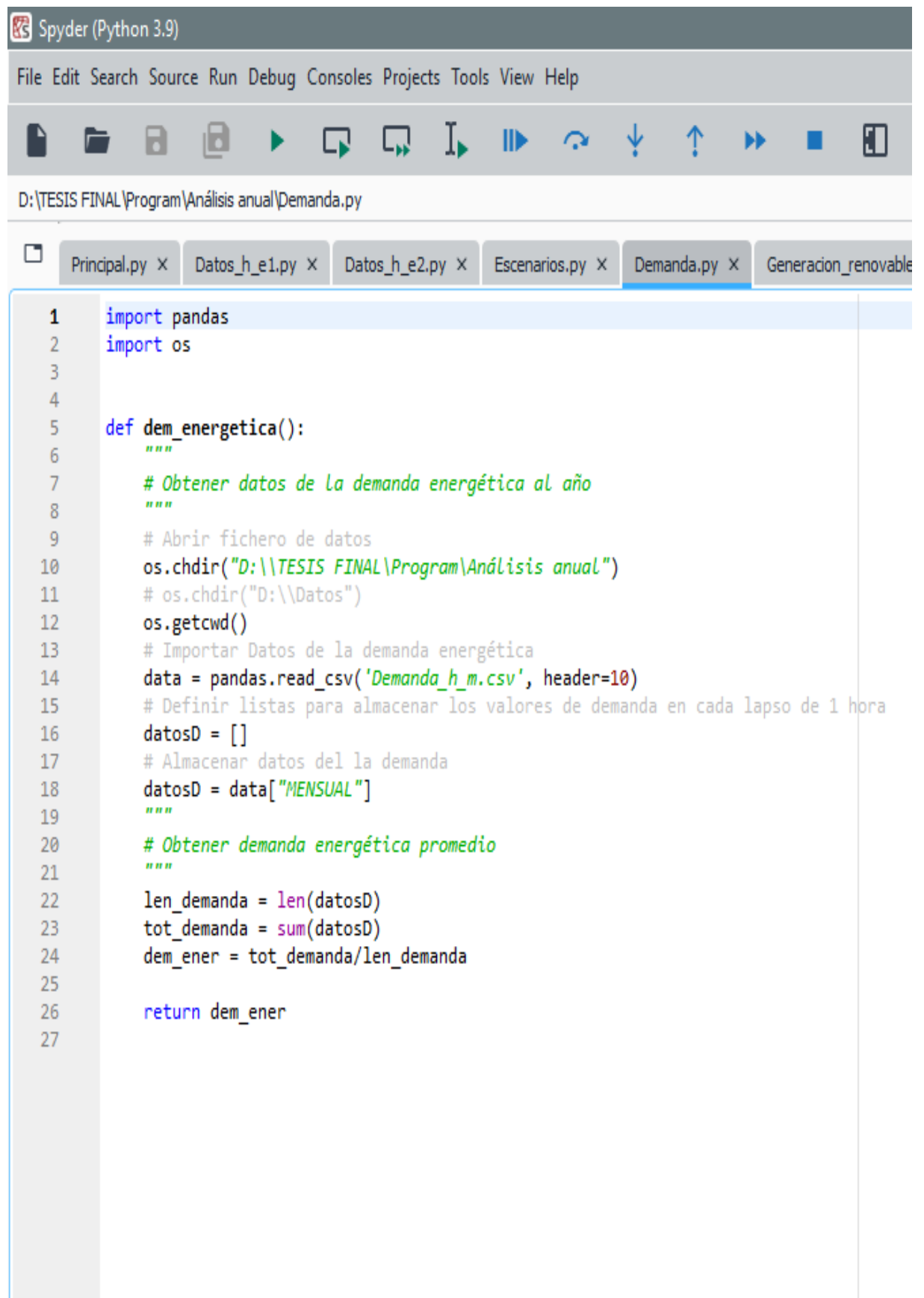
ANEXO Z: Código Datos por hora Escenario #2



```
Spyder (Python 3.9)
File Edit Search Source Run Debug Consoles Projects Tools View Help
D:\TESIS FINAL\Program\Análisis anual\Datos_h_e2.py
Principal.py x Datos_h_e1.py x Datos_h_e2.py x Escenarios.py x Demanda.py x Generacion_renovable.py x Analisis_sol_opt
5 *****
6 # El Arenal
7 # Location: Latitude -1.4317 Longitude -78.9388
8 *****
9 def datos_arenal():
10     """
11     # Obetener datos del recurso renovable hora/año
12     """
13     # Abrir fichero de datos
14     os.chdir("D:\\TESIS FINAL\\Program\\Análisis anual")
15     # os.chdir("D:\\Datos")
16     os.getcwd()
17     # Importar datos El Aromo
18     data = pandas.read_csv('Arenal_h_a.csv', delimiter=";", header=11)
19     # Definir listas para almacenar los valores de los recursos renovables
20     datosV = []
21     datosS = []
22     # Almacenar Datos del Recurso Eólico, Recurso Solar
23     datosV = data["WS10M"]
24     datosS = data["ALLSKY_SFC_SW_DWN"]
25     """
26     # Invocar datos del escenario #2
27     """
28     cost_t2, p_w2, v_C2, v_R2, v_F2, cost_p2, Y_pv2, C_t2, f_v2, I_ec2, T_tc2, cost_b2, imax_b2, volnom_b2,
29     """
30     # Cálculo de la Generación Eólica y Generación Solar
31     """
32     # Definir listas para almacenar la potencia obtenida del recurso eólico y recurso solar en cada paso del
33     potprom_t2 = []
34     potprom_p2 = []
35     # Generación eólica y Generación solar
36     T_cell2 = 9 # Temperatura de la superficie del PPV (°C)
37
38     for h in range(len(datosV)):
39         potprom_p2.append(round(f_v2*Y_pv2*(1+C_t2*((T_cell2+0.0256*datosS[h])-T_tc2))*(datosS[h]/I_ec2), 5)
```

LSP Python:

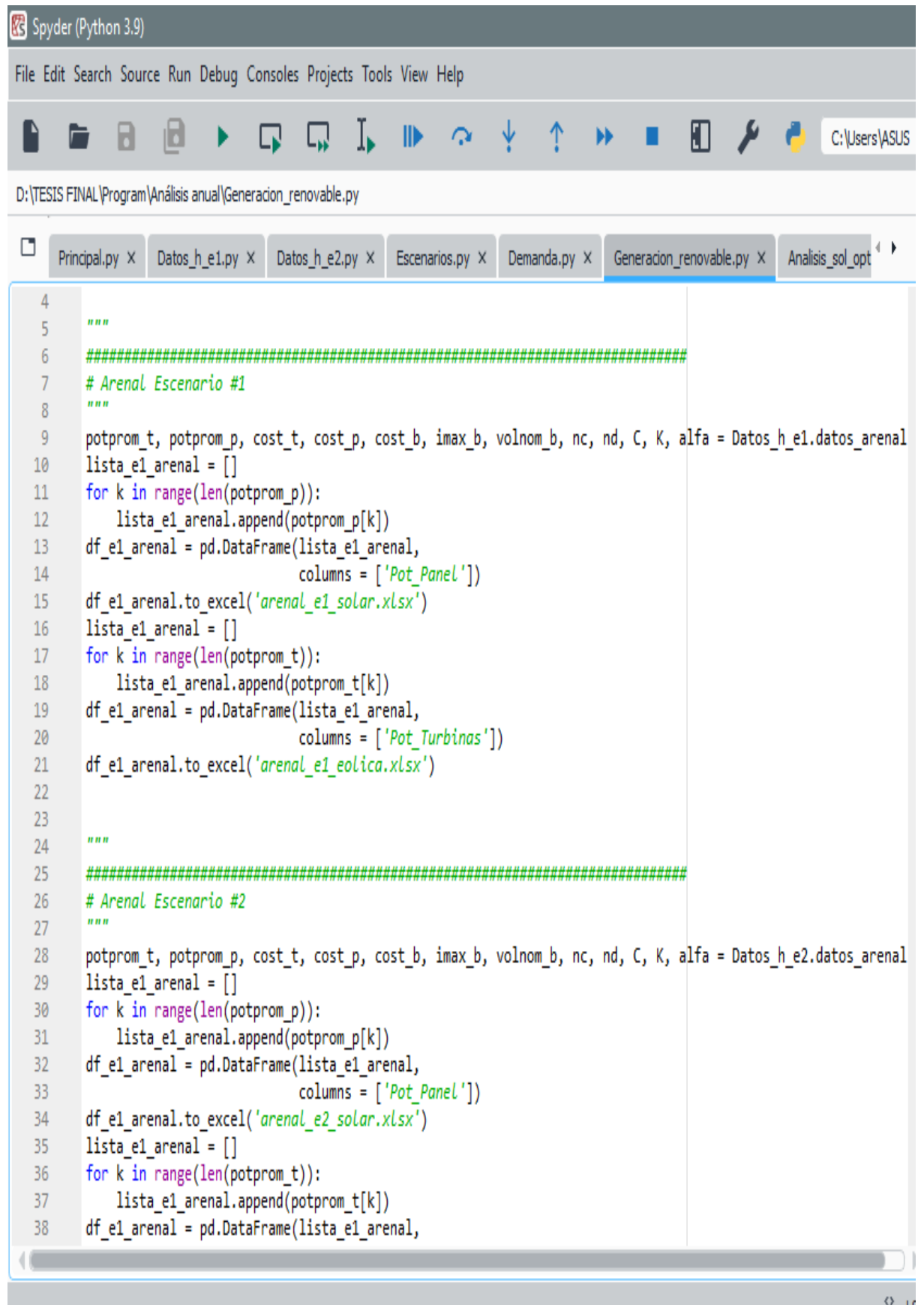
ANEXO AA: Análisis Demanda mensual 3 viviendas de 3 habitantes



The image shows a screenshot of the Spyder Python IDE interface. The title bar indicates 'Spyder (Python 3.9)'. The menu bar includes 'File', 'Edit', 'Search', 'Source', 'Run', 'Debug', 'Consoles', 'Projects', 'Tools', 'View', and 'Help'. The toolbar contains various icons for file operations and execution. The current file path is 'D:\TESIS FINAL\Program\Análisis anual\Demanda.py'. The active window is 'Demanda.py', with other tabs for 'Principal.py', 'Datos_h_e1.py', 'Datos_h_e2.py', 'Escenarios.py', and 'Generacion_renovable'. The code in the editor is as follows:

```
1 import pandas
2 import os
3
4
5 def dem_energetica():
6     """
7     # Obtener datos de la demanda energética al año
8     """
9     # Abrir fichero de datos
10    os.chdir("D:\\TESIS FINAL\\Program\\Análisis anual")
11    # os.chdir("D:\\Datos")
12    os.getcwd()
13    # Importar Datos de la demanda energética
14    data = pandas.read_csv('Demanda_h_m.csv', header=10)
15    # Definir listas para almacenar los valores de demanda en cada lapso de 1 hora
16    datosD = []
17    # Almacenar datos de la demanda
18    datosD = data["MENSUAL"]
19    """
20    # Obtener demanda energética promedio
21    """
22    len_demanda = len(datosD)
23    tot_demanda = sum(datosD)
24    dem_ener = tot_demanda/len_demanda
25
26    return dem_ener
27
```

ANEXO BB: Cálculo de generación renovable El Aromo – El Arenal



```
4
5 """
6 #####
7 # Arenal Escenario #1
8 """
9 potprom_t, potprom_p, cost_t, cost_p, cost_b, imax_b, volnom_b, nc, nd, C, K, alfa = Datos_h_e1.datos_arenal
10 lista_e1_arenal = []
11 for k in range(len(potprom_p)):
12     lista_e1_arenal.append(potprom_p[k])
13 df_e1_arenal = pd.DataFrame(lista_e1_arenal,
14                             columns = ['Pot_Panel'])
15 df_e1_arenal.to_excel('arenal_e1_solar.xlsx')
16 lista_e1_arenal = []
17 for k in range(len(potprom_t)):
18     lista_e1_arenal.append(potprom_t[k])
19 df_e1_arenal = pd.DataFrame(lista_e1_arenal,
20                             columns = ['Pot_Turbinas'])
21 df_e1_arenal.to_excel('arenal_e1_eolica.xlsx')
22
23
24 """
25 #####
26 # Arenal Escenario #2
27 """
28 potprom_t, potprom_p, cost_t, cost_p, cost_b, imax_b, volnom_b, nc, nd, C, K, alfa = Datos_h_e2.datos_arenal
29 lista_e1_arenal = []
30 for k in range(len(potprom_p)):
31     lista_e1_arenal.append(potprom_p[k])
32 df_e1_arenal = pd.DataFrame(lista_e1_arenal,
33                             columns = ['Pot_Panel'])
34 df_e1_arenal.to_excel('arenal_e2_solar.xlsx')
35 lista_e1_arenal = []
36 for k in range(len(potprom_t)):
37     lista_e1_arenal.append(potprom_t[k])
38 df_e1_arenal = pd.DataFrame(lista_e1_arenal,
```


ANEXO CC: Análisis del comportamiento de banco de batería y LPS

```
Spyder (Python 3.9)
File Edit Search Source Run Debug Consoles Projects Tools View Help
C:\Users\ASUS
D:\TESIS FINAL\Program\Análisis anual\Análisis_sol_opt.py
al.py x Datos_h_e1.py x Datos_h_e2.py x Escenarios.py x Demanda.py x Generacion_renovable.py x Analisis_sol_opt.py x
18 """
19 #####
20 # Energía de generada por una unidad de turbina y una unidad de panel solar, y valores de la batería
21 """
22 opc = 3
23
24 if opc == 1:
25     # Aromo Escenario #1
26     potprom_t, potprom_p, cost_t, cost_p, cost_b, imax_b, volnom_b, nc, nd, C, K, alfa = Datos_h_e1.datos_a
27     print('\nEL AROMO ', '\nEscenario #1:')
28
29 elif opc == 2:
30     # Aromo Escenario #2
31     potprom_t, potprom_p, cost_t, cost_p, cost_b, imax_b, volnom_b, nc, nd, C, K, alfa = Datos_h_e2.datos_a
32     print('\nEL AROMO ', '\nEscenario #2:')
33
34 elif opc == 3:
35     # Arenal Escenario #1
36     potprom_t, potprom_p, cost_t, cost_p, cost_b, imax_b, volnom_b, nc, nd, C, K, alfa = Datos_h_e1.datos_a
37     print('\nEL ARENAL ', '\nEscenario #1:')
38
39 else:
40     # Arenal Escenario #2
41     potprom_t, potprom_p, cost_t, cost_p, cost_b, imax_b, volnom_b, nc, nd, C, K, alfa = Datos_h_e2.datos_a
42     print('\nEL ARENAL ', '\nEscenario #2:')
43
44 """
45 #####
46 # Conjunto de paneles, baterías y turbinas
47 """
48 # x_p = 74
49 # x_t = 0
50 # x_b = 93
51 x_p = 53
52 x_t = 30
LSP Python
```



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 10/03/2023

INFORMACIÓN DE LA AUTORA	
Nombres – Apellidos: Bétty Zulimar Tacuri Sánchez	
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL	
Facultad: Facultad de Informática y Electrónica	
Carrera: Electrónica y Automatización	
Título a optar: Ingeniera en Electrónica y Automatización	
f. Analista de Biblioteca responsable:	 Ing. Fernanda Arévalo M.



0330-DBRA-UPT-2023